



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ
ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

**Αξιολόγηση των μη ενεργειακών οφελών των έργων
ενεργειακής αποδοτικότητας σε κτίρια μέσω
πολυκριτήριας ανάλυσης**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Δημήτριος Χρ. Μαμίτσας

Επιβλέπων : Ευάγγελος Μαρινάκης
Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Ιούλιος 2025



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ
ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

**Αξιολόγηση των μη ενεργειακών οφελών των έργων
ενεργειακής αποδοτικότητας σε κτίρια μέσω
πολυκριτήριας ανάλυσης**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Δημήτριος Χρ. Μαμίτσας

Επιβλέπων : Ευάγγελος Μαρινάκης
Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 8^η Ιουλίου 2025.

.....

Ευάγγελος Μαρινάκης

Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ

.....

Ιωάννης Ψαρράς

Καθηγητής ΕΜΠ

.....

Δημήτριος Ασκούνης

Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Ιούλιος 2025

.....
Δημήτριος Χρ. Μαμίτσας

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Δημήτριος Χρ. Μαμίτσας, 2025

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Περίληψη

Η ενεργειακή αναβάθμιση των κτιρίων αποτελεί τα τελευταία χρόνια βασικό πυλώνα της ευρωπαϊκής και εθνικής πολιτικής για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης. Ωστόσο, πέρα από τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης, τέτοιες παρεμβάσεις συνοδεύονται συχνά από σημαντικά μη ενεργειακά οφέλη (Non-Energy Benefits - NEBs), όπως η βελτίωση της θερμικής και οπτικής άνεσης, η αύξηση της παραγωγικότητας ή της υγείας των χρηστών, καθώς και η αναβάθμιση της εμπορικής αξίας των κτιρίων. Παρά τη σημασία τους, τα οφέλη αυτά συχνά παραβλέπονται στην αξιολόγηση των έργων, κυρίως λόγω της απουσίας ενός συστηματοποιημένου και αποδεκτού πλαισίου μέτρησης και στάθμισης τους.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανάπτυξη και εφαρμογή μιας καινοτόμου μεθοδολογίας ιεράρχησης και στάθμισης των μη ενεργειακών οφελών, η οποία συνδυάζει τη μέθοδο Best-Worst (BWM) για τις βασικές κατηγορίες κριτηρίων με τη μέθοδο Point Allocation για τα αντίστοιχα υποκριτήρια. Ο συνδυασμός αυτός, ο οποίος - βάσει της υπάρχουσας βιβλιογραφίας - δεν έχει εφαρμοστεί ξανά, αποσκοπεί στην επίτευξη ενός φιλικού προς τον χρήστη, μεθοδολογικά στιβαρού και γνωστικά αποδοτικού εργαλείου, το οποίο μπορεί να αξιοποιηθεί σε εφαρμογές ενεργειακού σχεδιασμού και αξιολόγησης έργων ανακαίνισης.

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης επιβεβαιώνουν την εφικτότητα, αξιοπιστία και πρακτική αξία της προτεινόμενης προσέγγισης. Τα τελικά βάρη που προέκυψαν από τον υπολογισμό των προτιμήσεων των συμμετεχόντων αναδεικνύουν τις πλέον κρίσιμες κατηγορίες και επιμέρους δείκτες μη ενεργειακών οφελών που θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την αποτίμηση ενεργειακών παρεμβάσεων.

Λέξεις Κλειδιά: Μέτρηση και Επαλήθευση, Μη Ενεργειακά Οφέλη, Ενεργειακή Αναβάθμιση Κτιρίων, Ενεργειακές Ανακαινίσεις, Πολυκριτήρια Ανάλυση Αποφάσεων, Μέθοδος Point Allocation, Μέθοδος BWM.

Abstract

The energy upgrading of buildings has been a key pillar of European and national policies in recent years to address climate change and reduce energy consumption. However, in addition to improving energy efficiency, such interventions are often accompanied by significant non-energy benefits (NEBs), such as improving thermal and visual comfort, increasing productivity or health of users, as well as upgrading the commercial value of buildings. Despite their importance, these benefits are often overlooked in the evaluation of projects, mainly due to the absence of a systematized and accepted framework for measuring and weighing them.

The purpose of this thesis is to develop and implement an innovative methodology for prioritizing and weighting non-energy benefits, which combines the Best-Worst (BWM) method for the main categories of criteria with the Point Allocation method for the corresponding sub-criteria. This combination, which - based on the existing literature - has not been applied before, aims to achieve a user-friendly, methodologically robust and cognitively efficient tool, which can be utilized in energy design and renovation project evaluation applications.

The results of the analysis confirm the feasibility, reliability and practical value of the proposed approach. The final weights resulting from the calculation of participants' preferences highlight the most critical categories and individual indicators of non-energy benefits that should be taken into account when evaluating energy interventions.

Keywords: Measurement and Verification, Non Energy Benefits, Building Energy Upgrade, Energy Retrofits, Multicriteria Decision Analysis, Point Allocation, BWM

Πρόλογος

Η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο πλαίσιο των ερευνητικών δραστηριοτήτων του Εργαστηρίου Συστημάτων Αποφάσεων και Διοίκησης, κατά το ακαδημαϊκό έτος 2024-2025 και την περίοδο Νοεμβρίου 2024-Ιουνίου 2025. Το Εργαστήριο υπάγεται στον Τομέα Ηλεκτρικών Βιομηχανικών Διατάξεων και Συστημάτων Αποφάσεων της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου (ΕΜΠ). Η εργασία πραγματοποιήθηκε υπό την επίβλεψη του κ. Ευάγγελου Μαρινάκη, Επίκουρου Καθηγητή ΕΜΠ, στην Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, τον οποίο ευχαριστώ ιδιαίτερα για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με το συγκεκριμένο θέμα.

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο πλαίσιο της ανάγκης για μια πιο ολοκληρωμένη και ποιοτικά τεκμηριωμένη αξιολόγηση των παρεμβάσεων ενεργειακής αναβάθμισης στον κτιριακό τομέα. Κύριος στόχος της είναι η ανάπτυξη και εφαρμογή μιας καινοτόμου μεθοδολογικής προσέγγισης για τη στάθμιση των μη ενεργειακών οφελών (Non-Energy Benefits - NEBs), τα οποία, παρά τη σημασία τους, συχνά υποεκτιμώνται στον σχεδιασμό και την αξιολόγηση σχετικών έργων. Η εργασία συνδυάζει δύο μεθόδους πολυκριτήριας ανάλυσης - τη Best-Worst Method για τις βασικές κατηγορίες κριτηρίων και τη μέθοδο Point Allocation για τα αντίστοιχα υποκριτήρια - με σκοπό τη δημιουργία ενός ευέλικτου και φιλικού προς τον χρήστη πλαισίου ιεράρχησης. Μέσα από βιβλιογραφική ανασκόπηση, ανάπτυξη ερωτηματολογίου και ανάλυση των αποτελεσμάτων, επιχειρείται να δοθεί ένα πρακτικό εργαλείο σε ερευνητές και επαγγελματίες του τομέα για τη λήψη αποφάσεων που βασίζονται σε ποιοτικά και κοινωνικά σημαντικά κριτήρια.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τους ερευνητές του εργαστηρίου Συστημάτων Αποφάσεων και Διοίκησης Κατερίνα Παπαποστόλου, Ιωάννα Ανδρεουλάκη και Ντανιέλα Στογιάν για την εξαιρετική συνεργασία και επικοινωνία που είχαμε, την επίλυση αποριών και τη σημαντική βοήθεια που μου προσέφεραν σε όλη τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και το στενό φιλικό μου κύκλο για την αδιάκοπη και πολύπλευρη υποστήριξη που μου προσέφεραν κατά την διάρκεια των σπουδών μου και κατά την εκπόνηση της παρούσας εργασίας.

Δημήτριος Μαμίτσας
Ιούλιος, 2025



Πίνακας Περιεχομένων

1	Εισαγωγή	19
1.1	Αντικείμενο-Σκοπός	19
1.2	Φάσεις Υλοποίησης	20
1.3	Δομή της Εργασίας	20
2	Θεωρητικό Υπόβαθρο	25
2.1	Ενεργειακή Αποδοτικότητα στα Κτίρια	25
2.1.1	Ορισμός και Σημασία	25
2.1.2	Μέτρα Ενεργειακής Αναβάθμισης στα Κτίρια	26
2.2	Μέτρηση και Επαλήθευση (M&V)	28
2.2.1	Ορισμός και Σκοπός της M&V	28
2.2.2	Το Πλαίσιο IPMVP	29
2.2.3	Παράγοντες που επηρεάζουν τη Διαδικασία Μέτρησης και Επαλήθευσης	31
2.2.4	Τεχνολογίες Υποστήριξης της M&V	32
3	Βιβλιογραφική Ανασκόπηση	37
3.1	Μέθοδοι Μέτρησης και Επαλήθευσης (Measurement & Verification - M&V)	37
3.2	Μη Ενεργειακά Οφέλη (Non-Energy Benefits - NEBs)	40
3.3	Ανάλυση Δεικτών και Διαμόρφωση Υποκριτηρίων	48
3.4	Πιστοποιήσεις και Πρωτόκολλα Αξιολόγησης Non-Energy Benefits	49
4	Σχεδιασμός Μεθοδολογίας	59
4.1	Αναγνώριση και Κατηγοριοποίηση των Non-Energy Benefits	59
4.1.1	Ορισμός και Σημασία των Non-Energy Benefits	59
4.1.2	Κατηγοριοποίηση των Non-Energy Benefits	60
4.1.3	Επιλογή Κριτηρίων και Υποκριτηρίων	61
4.2	Πολυκριτήρια Ανάλυση: Θεωρητικό Υπόβαθρο	61
4.2.1	Ορισμός και Σκοπός της Πολυκριτήριας Ανάλυσης	61
4.2.2	Εφαρμογές της Πολυκριτήριας Ανάλυσης	61
4.2.3	Κατηγορίες Μεθόδων Πολυκριτήριας Ανάλυσης	62
4.2.4	Πλεονεκτήματα της Πολυκριτήριας Ανάλυσης	62
4.3	Επισκόπηση Μεθόδων Πολυκριτήριας Ανάλυσης	62
4.3.1	Περιγραφή Επιλεγμένων Μεθόδων	63
4.4	Επιλογή και Περιγραφή των Μεθόδων που Χρησιμοποιήθηκαν	66
4.4.1	Αιτιολόγηση Επιλογής Μεθόδων	66
4.4.2	Περιγραφή της Μεθόδου Best-Worst Method (BWM)	67
4.4.3	Περιγραφή της Μεθόδου Point Allocation	67
4.4.4	Διαδικασία Εφαρμογής στη Συγκεκριμένη Έρευνα	67

4.5	Παραδείγματα Εφαρμογής στη Βιβλιογραφία	68
4.5.1	Παραδείγματα Εφαρμογής της Μεθόδου Best-Worst (BWM)	68
4.5.2	Παραδείγματα Εφαρμογής της Μεθόδου Point Allocation.....	71
5	Εφαρμογή Μεθοδολογίας	79
5.1	Εφαρμογή της Μεθόδου Best-Worst (BWM).....	79
5.1.1	Διαδικασία Εφαρμογής της Μεθόδου	79
5.1.2	Μαθηματική Διατύπωση.....	80
5.1.3	Εφαρμογή στη Παρούσα Μελέτη	80
5.2	Εφαρμογή της Μεθόδου Point Allocation	82
5.2.1	Περιγραφή της Διαδικασίας.....	82
5.2.2	Υπολογισμός των Σχετικών Βαρών	83
5.2.3	Εφαρμογή στη Παρούσα Μελέτη	83
5.3	Σταθμισμένος Μέσος Όρος Προτιμήσεων	89
5.4	Σχολιασμός Αποτελεσμάτων	92
6	Συμπεράσματα και Προοπτικές	97
6.1	Συμπεράσματα	97
6.2	Προοπτικές.....	98
7	Βιβλιογραφία	101
8	Παράρτημα	109
8.1	Κατάλογος Συντομογραφιών.....	109
8.2	Ερωτηματολόγιο για την Εφαρμογή BWM και Point Allocation	110

Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 1 : Σύγκριση Τεχνολογιών και Προσεγγίσεων στη Μέτρηση και Επαλήθευση (M&V)	38
Πίνακας 2 : Σύγκριση των NEBs σχετικά με την Περιοχή Εφαρμογής, την Ποιότητα Εσωτερικού Αέρα και τη Θερμική Άνεση	40
Πίνακας 3 : Σύγκριση των NEBs σχετικά με τα Οφέλη Υγείας, Παραγωγικότητας, τα Κοινωνικά και Οικονομικά Οφέλη	43
Πίνακας 4 : Συγκριτικός πίνακας των επιλεγμένων NEBs σχετικά με τους δείκτες αξιολόγησης και τις μονάδες μέτρησης	45
Πίνακας 5 : Μετρικές αξιολόγησης και Υποκριτήρια ανά κατηγορία NEB	48
Πίνακας 6 : Πιστοποιήσεις - Πρωτόκολλα NEBs και χαρακτηριστικά τους	49
Πίνακας 7 : Είσοδοι - έξοδοι μεθόδων πολυκριτήριας ανάλυσης	64
Πίνακας 8 : Πλεονεκτήματα - μειονεκτήματα μεθόδων πολυκριτήριας ανάλυσης	65
Πίνακας 9 : Εφαρμογή BWM για συμμετέχων 1	80
Πίνακας 10 : Εφαρμογή BWM για συμμετέχων 2	81
Πίνακας 11 : Εφαρμογή BWM για συμμετέχων 3	81
Πίνακας 12 : Εφαρμογή BWM για συμμετέχων 4	81
Πίνακας 13 : Εφαρμογή BWM για συμμετέχων 5	82
Πίνακας 14 : Εφαρμογή Point Allocation για συμμετέχων 1	83
Πίνακας 15 : Εφαρμογή Point Allocation για συμμετέχων 2	84
Πίνακας 16 : Εφαρμογή Point Allocation για συμμετέχων 3	86
Πίνακας 17 : Εφαρμογή Point Allocation για συμμετέχων 4	87
Πίνακας 18 : Εφαρμογή Point Allocation για συμμετέχων 5	88
Πίνακας 19 : Μέσος όρος για BWM	90
Πίνακας 20 : Μέσος όρος για Point Allocation και εύρεση τελικών Βαρών	90

Ευρετήριο Σχημάτων

Σχήμα 1: Οι τέσσερις διαφορετικές μεθοδολογικές επιλογές του πρωτοκόλλου IPMVP για την εξοικονόμηση ενέργειας.....	31
--	----





ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Εισαγωγή

1 Εισαγωγή

1.1 Αντικείμενο-Σκοπός

Η διαρκώς αυξανόμενη ανάγκη για βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων, σε συνδυασμό με τις απαιτήσεις της ευρωπαϊκής και εθνικής νομοθεσίας, έχει καταστήσει επιτακτική τη διερεύνηση και εφαρμογή παρεμβάσεων ενεργειακής ανακαίνισης. Οι παρεμβάσεις αυτές στοχεύουν κυρίως στη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, συμβάλλοντας στη βιώσιμη ανάπτυξη και την προστασία του περιβάλλοντος. Ωστόσο, πέραν των άμεσων ενεργειακών και οικονομικών οφελών, η ενεργειακή ανακαίνιση συνοδεύεται από μια σειρά μη ενεργειακών οφελών (Non-Energy Benefits - NEBs), τα οποία σχετίζονται με τη βελτίωση της ποιότητας διαβίωσης, της υγείας, της άνεσης, της παραγωγικότητας, καθώς και με την αύξηση της αξίας των ακινήτων και τη μείωση του λειτουργικού κόστους. Παρά τη σημασία τους, τα μη ενεργειακά οφέλη συχνά υποεκτιμώνται ή παραβλέπονται κατά την αξιολόγηση και τεκμηρίωση των παρεμβάσεων ενεργειακής αναβάθμισης. Η συστηματική καταγραφή, ανάλυση και ιεράρχηση των NEBs αποτελεί ένα σύγχρονο ερευνητικό πεδίο, το οποίο μπορεί να ενισχύσει τη λήψη αποφάσεων και να προωθήσει πιο ολοκληρωμένες και αποδοτικές παρεμβάσεις στον κτιριακό τομέα.

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως βασικό αντικείμενο τη μελέτη, μέτρηση και επαλήθευση των μη ενεργειακών οφελών που προκύπτουν από την ενεργειακή ανακαίνιση κτιρίων. Ειδικότερα, εστιάζει στην ανάπτυξη και εφαρμογή μιας μεθοδολογικής προσέγγισης για την ιεράρχηση και στάθμιση των σχετικών κριτηρίων και υποκριτηρίων, με στόχο την αντικειμενική αξιολόγηση της συμβολής τους στη συνολική απόδοση των παρεμβάσεων. Σκοπός της εργασίας είναι η αναλυτική καταγραφή και οριοθέτηση των μη ενεργειακών οφελών που σχετίζονται με την ενεργειακή ανακαίνιση κτιρίων, βάσει της διεθνούς βιβλιογραφίας και των σύγχρονων ερευνητικών δεδομένων. Παράλληλα, επιχειρείται η ανάπτυξη συστηματικής μεθοδολογίας ιεράρχησης και στάθμισης των κριτηρίων και υποκριτηρίων των NEBs, με τη χρήση των μεθόδων Point Allocation και Best Worst Method (BWM). Η μεθοδολογία αυτή εφαρμόζεται σε επιλεγμένες περιπτώσεις κτιρίων, με στόχο την αξιολόγηση της σχετικής βαρύτητας των NEBs και την εξαγωγή συμπερασμάτων για την ενσωμάτωσή τους στη διαδικασία λήψης αποφάσεων. Επιπλέον, η εργασία αποσκοπεί στην παροχή εργαλείων και προτάσεων προς φορείς, μελετητές και ιδιοκτήτες κτιρίων, ώστε να λαμβάνονται υπόψη τα μη ενεργειακά οφέλη κατά το σχεδιασμό, την υλοποίηση και την αξιολόγηση έργων ενεργειακής αναβάθμισης.

Η εργασία φιλοδοξεί να συμβάλει στην κάλυψη του υφιστάμενου κενού που παρατηρείται στη συστηματική αξιολόγηση των μη ενεργειακών οφελών, ενισχύοντας την επιστημονική τεκμηρίωση και την πρακτική εφαρμογή ολοκληρωμένων παρεμβάσεων στον κτιριακό τομέα. Μέσω της προτεινόμενης μεθοδολογίας, επιδιώκεται η ενίσχυση της ορθολογικής λήψης αποφάσεων και η προώθηση έργων που δεν περιορίζονται μόνο στη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης, αλλά ενσωματώνουν και ευρύτερες παραμέτρους βιωσιμότητας, λειτουργικότητας και κοινωνικής αποδοχής. Η συμβολή της εργασίας εκτιμάται ότι θα είναι πολλαπλή, τόσο σε επίπεδο επιστημονικής γνώσης όσο και σε επίπεδο πρακτικής εφαρμογής, καθώς προσφέρει ένα σαφές, τεκμηριωμένο και εύχρηστο πλαίσιο αξιολόγησης των μη ενεργειακών οφελών, το οποίο μπορεί να αξιοποιηθεί σε μελλοντικές μελέτες και έργα ενεργειακής αναβάθμισης κτιρίων.

1.2 Φάσεις Υλοποίησης

Η υλοποίηση της παρούσας εργασίας διακρίνεται στις παρακάτω φάσεις, κάθε μια από τις οποίες περιγράφεται συνοπτικά παρακάτω:

1. **Βιβλιογραφική ανασκόπηση, χαρτογράφηση του ερευνητικού πεδίου και αποσαφήνιση των βασικών εννοιών:** Στο πλαίσιο αυτό, μελετήθηκαν οι σύγχρονες τάσεις, οι υφιστάμενες μεθοδολογικές προσεγγίσεις και τα ερευνητικά κενά που εντοπίζονται στη διεθνή βιβλιογραφία. Η φάση αυτή συνέβαλε στη διαμόρφωση ενός σαφούς θεωρητικού πλαισίου, το οποίο αποτέλεσε τη βάση για την περαιτέρω εξέλιξη της έρευνας.
2. **Οριοθέτηση του ερευνητικού προβλήματος και διατύπωση των στόχων της εργασίας:** Προσδιορίστηκαν τα βασικά ερευνητικά ερωτήματα, οι στόχοι και το εύρος της μελέτης, ενώ παράλληλα έγινε η αρχική καταγραφή των κριτηρίων και υποκριτηρίων που σχετίζονται με τα μη ενεργειακά οφέλη.
3. **Εξέταση και συγκριτική αξιολόγηση των μεθόδων πολυκριτηριακής ανάλυσης που εντοπίστηκαν στη βιβλιογραφία:** Μέσα από αυτή τη διαδικασία, επιλέχθηκαν οι μέθοδοι Point Allocation και Best Worst Method (BWM), καθώς κρίθηκαν κατάλληλες για την ιεράρχηση και στάθμιση των κριτηρίων και υποκριτηρίων των μη ενεργειακών οφελών, λαμβάνοντας υπόψη τόσο τη θεωρητική τους τεκμηρίωση όσο και την πρακτική τους ευελιξία.
4. **Εφαρμογή των επιλεγμένων μεθόδων:** Ακολούθησε η σχεδίαση του ερευνητικού εργαλείου (ερωτηματολόγιο), το οποίο διαμορφώθηκε σύμφωνα με τις απαιτήσεις των επιλεγμένων μεθόδων.
5. **Διαδικασία συλλογής δεδομένων:** Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν από ειδικούς του χώρου υποβλήθηκαν σε επεξεργασία και ανάλυση, με την εφαρμογή των μεθόδων point allocation και BWM, προκειμένου να προσδιοριστούν τα βάρη και η ιεράρχηση των κριτηρίων.
6. **Παρουσίαση των αποτελεσμάτων της ανάλυσης:** Ερμηνεία των αποτελεσμάτων σε συνάρτηση με τα ερευνητικά ερωτήματα και τη διεθνή βιβλιογραφία
7. **Διατύπωση συμπερασμάτων και προτάσεις για μελλοντική έρευνα:** Τα συμπεράσματα συνοψίζουν τα κυριότερα ευρήματα, αξιολογούν την επίτευξη των στόχων της εργασίας και αναδεικνύουν τη συμβολή της στο επιστημονικό πεδίο της ενεργειακής ανακαίνισης και της αξιολόγησης μη ενεργειακών ωφελειών. Παράλληλα, διατυπώνονται προτάσεις για την πρακτική αξιοποίηση των αποτελεσμάτων από φορείς, μελετητές και ιδιοκτήτες κτιρίων, καθώς και προτάσεις για περαιτέρω έρευνα, με βάση τα ερευνητικά κενά που εντοπίστηκαν κατά τη διάρκεια της μελέτης.

1.3 Δομή της Εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία είναι οργανωμένη σε επτά βασικά κεφάλαια, ακολουθεί συνοπτική περιγραφή της δομής κάθε κεφαλαίου:

Το πρώτο κεφάλαιο αποτελεί την εισαγωγή της εργασίας. Σε αυτό παρουσιάζεται το γενικό πλαίσιο και η σημασία της ενεργειακής αποδοτικότητας στα κτίρια, διατυπώνεται ο σκοπός και τα ερευνητικά ερωτήματα της μελέτης, περιγράφονται συνοπτικά η μεθοδολογία αξιολόγησης των αποτελεσμάτων έργων ενεργειακής αποδοτικότητας και οι φάσεις υλοποίησης της εργασίας. Το κεφάλαιο ολοκληρώνεται με την παρουσίαση της συνολικής

δομής της διπλωματικής, παρέχοντας στον αναγνώστη έναν χάρτη πλοήγησης για τα επόμενα κεφάλαια.

Το δεύτερο κεφάλαιο αναπτύσσει το θεωρητικό υπόβαθρο της εργασίας. Εστιάζει στις βασικές αρχές της ενεργειακής αποδοτικότητας στα κτίρια, αναλύει τα κύρια προβλήματα και προκλήσεις που αντιμετωπίζει ο κτιριακός τομέας, και εξετάζει τις μεθόδους μέτρησης και επαλήθευσης της ενεργειακής απόδοσης.

Στο τρίτο κεφάλαιο πραγματοποιείται η βιβλιογραφική ανασκόπηση. Εξετάζονται οι σύγχρονες επιστημονικές προσεγγίσεις και τα ερευνητικά ευρήματα σχετικά με την αξιολόγηση ενεργειακών παρεμβάσεων, τα μη ενεργειακά οφέλη, καθώς και τις μεθόδους μέτρησης και επαλήθευσης που εφαρμόζονται στον τομέα της ενέργειας και των κτιρίων.

Το τέταρτο κεφάλαιο αφορά τον σχεδιασμό της μεθοδολογίας. Περιγράφονται οι μετρικές που χρησιμοποιούνται, καθώς και οι επιλεγμένες μέθοδοι πολυκριτηριακής ανάλυσης (Best-Worst Method και Point Allocation). Στο πλαίσιο αυτό, παρουσιάζονται τα θεωρητικά χαρακτηριστικά των μεθόδων και παραδείγματα εφαρμογής τους στον τομέα της ενεργειακής αποδοτικότητας των κτιρίων.

Στο πέμπτο κεφάλαιο ακολουθεί η εφαρμογή της μεθοδολογίας. Παρουσιάζονται αναλυτικά τα βήματα της ανάλυσης, οι σχετικές εξισώσεις, καθώς και τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εφαρμογή των μεθόδων στα επιλεγμένα δεδομένα, συνοδευόμενα από πίνακες και διαγράμματα.

Το έκτο κεφάλαιο περιλαμβάνει τον σχολιασμό και την ερμηνεία των αποτελεσμάτων. Τα ευρήματα συζητούνται σε σχέση με τα ερευνητικά ερωτήματα, τη διεθνή βιβλιογραφία και τις πρακτικές εφαρμογές στον τομέα της ενεργειακής ανακαίνισης.

Τέλος, το έβδομο κεφάλαιο συνοψίζει τα βασικά συμπεράσματα της εργασίας και αναδεικνύει τις προοπτικές για μελλοντική έρευνα και πρακτική αξιοποίηση των αποτελεσμάτων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Θεωρητικό Υπόβαθρο

2 Θεωρητικό Υπόβαθρο

Το παρόν κεφάλαιο αποσκοπεί στην ανάλυση των βασικών εννοιών που αποτελούν τη θεωρητική θεμελίωση της έρευνας. Αρχικά, εξετάζεται η έννοια της ενεργειακής αποδοτικότητας στον κτιριακό τομέα, η οποία αποτελεί κρίσιμο άξονα της σύγχρονης πολιτικής για τη βιώσιμη ανάπτυξη και την αντιμετώπιση της ενεργειακής κρίσης και της κλιματικής αλλαγής. Στη συνέχεια, παρουσιάζεται η έννοια της Μέτρησης και Επαλήθευσης (M&V), δηλαδή η διαδικασία μέσω της οποίας καταγράφεται, υπολογίζεται και επαληθεύεται η πραγματική εξοικονόμηση ενέργειας που επιτυγχάνεται από την εφαρμογή ενεργειακών παρεμβάσεων.

2.1 Ενεργειακή Αποδοτικότητα στα Κτίρια

2.1.1 Ορισμός και Σημασία

Η ενεργειακή αποδοτικότητα στα κτίρια αναφέρεται στην ικανότητά τους να χρησιμοποιούν την ελάχιστη δυνατή ποσότητα ενέργειας για την εξασφάλιση βασικών λειτουργιών, όπως η θέρμανση, η ψύξη, ο φωτισμός, και η λειτουργία ηλεκτρικών συσκευών. Πρόκειται για έναν συνδυασμό τεχνολογικών παρεμβάσεων, σχεδιαστικών λύσεων και αλλαγών στη συμπεριφορά των χρηστών, που αποσκοπεί στη μείωση της σπατάλης ενέργειας χωρίς να υποβαθμίζονται οι παρεχόμενες υπηρεσίες.

Σύμφωνα με τον Διεθνή Οργανισμό Ενέργειας (IEA), η βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας στον κτιριακό τομέα είναι μία από τις πιο αποδοτικές και άμεσες στρατηγικές για τη μείωση της ενεργειακής ζήτησης και την ελάφρυνση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος (Laustsen, 2008).

Περιβαλλοντική Διάσταση

Τα κτίρια ευθύνονται για το 28% των παγκόσμιων εκπομπών CO₂, λόγω της χρήσης μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για θέρμανση, ψύξη και ηλεκτρική ενέργεια. Η βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας μειώνει σημαντικά αυτές τις εκπομπές και συμβάλλει στην αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής. Επιπλέον, μειώνεται η εξάρτηση από τη χρήση ορυκτών καυσίμων, προωθώντας καθαρότερες μορφές ενέργειας και πιο βιώσιμες πρακτικές (Dakwale et al., 2011).

Οικονομική Διάσταση

Τα κτίρια με χαμηλή ενεργειακή κατανάλωση οδηγούν σε σημαντική μείωση των λογαριασμών ενέργειας, καθιστώντας τα πιο προσιτά για τα νοικοκυριά και τις επιχειρήσεις και οι ενεργειακές αναβαθμίσεις αυξάνουν την αξία των ακινήτων, καθιστώντας τα ελκυστικότερα για αγοραστές και επενδυτές. Επιπλέον, ενισχύεται η τοπική και εθνική οικονομία μέσω της δημιουργίας θέσεων εργασίας στον τομέα της κατασκευής, της ανακαίνισης και της ενεργειακής τεχνολογίας (Popescu et al., 2012).

Κοινωνική Διάσταση

Η ενεργειακή αποδοτικότητα βελτιώνει την ποιότητα ζωής, εξασφαλίζοντας σταθερότερες θερμοκρασίες, καλύτερη ποιότητα αέρα και άνετους χώρους διαβίωσης. Συμβάλλει επίσης, στην καταπολέμηση της ενεργειακής φτώχειας, ειδικά σε ευάλωτα νοικοκυριά, μέσω της μείωσης της ενεργειακής τους δαπάνης (Harputlugil & de Wilde, 2021).

Πολιτική Διάσταση

Σε παγκόσμιο επίπεδο, η ενεργειακή αποδοτικότητα είναι θεμελιώδης για την επίτευξη των στόχων βιώσιμης ανάπτυξης (SDGs) των Ηνωμένων Εθνών, ιδιαίτερα του SDG 7 («Affordable and Clean Energy») και του SDG 13 («Climate Action»). Οι κυβερνήσεις υιοθετούν πολιτικές και νομοθεσίες, όπως η Ευρωπαϊκή Οδηγία για την Ενεργειακή Απόδοση των Κτιρίων (EPBD), για την προώθηση των σχετικών παρεμβάσεων (Di Foggia, 2018).

Η Σχέση με τη Βιώσιμη Ανάπτυξη

Η ενεργειακή αποδοτικότητα στα κτίρια είναι πυλώνας της βιώσιμης ανάπτυξης, καθώς συνδυάζει την προστασία του περιβάλλοντος, την κοινωνική ευημερία και την οικονομική ανάπτυξη. Η μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης και η προώθηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στα κτίρια αποτελούν απαραίτητες προϋποθέσεις για την επίτευξη της μετάβασης σε μια πιο πράσινη οικονομία (Chel & Kaushik, 2018).

2.1.2 Μέτρα Ενεργειακής Αναβάθμισης στα Κτίρια

Η ενεργειακή αναβάθμιση των κτιρίων περιλαμβάνει μια σειρά από παρεμβάσεις και τεχνολογίες που στοχεύουν στη βελτίωση της αποδοτικότητας των ενεργειακών συστημάτων και την ελαχιστοποίηση των απωλειών ενέργειας. Αυτά τα μέτρα, τα οποία μπορούν να εφαρμοστούν τόσο σε υφιστάμενα όσο και σε νέα κτίρια, συμβάλλουν στη μείωση των λειτουργικών δαπανών, στην αύξηση της άνεσης των χρηστών και στη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος.

Θερμομόνωση

Η θερμομόνωση είναι από τα πιο αποτελεσματικά μέτρα ενεργειακής αναβάθμισης, καθώς μειώνει τις θερμικές απώλειες κατά τους χειμερινούς μήνες και την ανεπιθύμητη θερμότητα κατά τους θερινούς. Περιλαμβάνει:

- Μόνωση τοίχων (εξωτερική ή εσωτερική).
- Μόνωση οροφών και δαπέδων.
- Χρήση ενεργειακών κουφωμάτων (π.χ., διπλά ή τριπλά τζάμια)

Η σωστή θερμομόνωση μπορεί να μειώσει την κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση και ψύξη έως και 50% (Kolaitis et al., 2013).

Ενεργειακά Αποδοτικά Κουφώματα

Τα παλιά κουφώματα και τα τζάμια συμβάλλουν σημαντικά στις θερμικές απώλειες των κτιρίων. Η αντικατάστασή τους με ενεργειακά αποδοτικά συστήματα μπορεί να βελτιώσει δραστικά την ενεργειακή απόδοση. Σε αυτά τα συστήματα περιλαμβάνονται:

- Διπλά ή τριπλά τζάμια με ειδικές επιστρώσεις για τη μείωση της απώλειας θερμότητας.
- Κουφώματα με θερμοδιακοπή για την ελαχιστοποίηση της θερμογέφυρας.

Τα οφέλη των ενεργειακά αποδοτικών κουφωμάτων είναι η μείωση απωλειών θερμότητας μέσω ανοιγμάτων έως και 70%, αλλά και η μείωση θορύβου και βελτίωση της ηχομόνωσης.

Βελτίωση Συστημάτων Θέρμανσης και Ψύξης

Η αναβάθμιση των συστημάτων θέρμανσης, ψύξης και αερισμού συμβάλλει στην εξοικονόμηση ενέργειας και στη βελτίωση της ποιότητας αέρα των εσωτερικών χώρων. Μερικά παραδείγματα είναι:

- **Αντλίες θερμότητας:** Υψηλής απόδοσης συστήματα που χρησιμοποιούν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (π.χ. γεωθερμία, αέρας).
- **Λέβητες συμπίκνωσης:** Αξιοποιούν τη θερμότητα των καυσαερίων, προσφέροντας αυξημένη απόδοση.
- **Συστήματα ψύξης υψηλής απόδοσης:** Χρήση ψυκτών και συστημάτων μεταβλητής ροής ψυκτικού μέσου (VRF).

Η χρήση αποδοτικότερων συστημάτων θέρμανσης και ψύξης μπορεί να μειώσει κατά 30% τη κατανάλωση ενέργειας, αλλά και να βελτιώσει τη ποιότητα του αέρα και τη θερμική άνεση (Ürge-Vorsatz et al., 2015).

Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Η ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στα κτίρια μειώνει την εξάρτηση από συμβατικές πηγές ενέργειας και συμβάλλει στη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος. Παραδείγματα τέτοιων τεχνολογιών είναι:

- **Φωτοβολταϊκά συστήματα** για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.
- **Ηλιακοί θερμοσίφωνες** για ζεστό νερό χρήσης.
- **Γεωθερμικές αντλίες θερμότητας** για θέρμανση και ψύξη.

Τα οφέλη περιλαμβάνουν μηδενικές εκπομπές CO₂ κατά τη λειτουργία, ενεργειακή αυτονομία και μείωση του ενεργειακού κόστους (Hassan & El-Rayes, 2021).

Ενεργειακά Αποδοτικός Φωτισμός

Ο φωτισμός αποτελεί σημαντικό μέρος της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων, ειδικά σε εμπορικά κτίρια. Η αντικατάσταση παλαιών συστημάτων φωτισμού με αποδοτικότερα μπορεί να μειώσει την κατανάλωση ενέργειας. Κάποια από τα μέτρα είναι:

- Χρήση λαμπτήρων LED, που καταναλώνουν έως και 75% λιγότερη ενέργεια από τους συμβατικούς.
- Εγκατάσταση αισθητήρων φωτός και κίνησης για την αποφυγή σπατάλης ενέργειας.

Εκτός από τη μείωση του ενεργειακού κόστους, η διάρκεια ζωής των συστημάτων φωτισμού είναι έως και 10 φορές μεγαλύτερη (Gentile, 2022).

Έξυπνα Συστήματα Διαχείρισης Ενέργειας

Η χρήση έξυπνων συστημάτων αυτοματισμού (BMS - Building Management Systems) επιτρέπει την αποδοτικότερη διαχείριση των ενεργειακών συστημάτων ενός κτιρίου. Στις λειτουργίες αυτών των συστημάτων περιλαμβάνονται:

- Ρύθμιση θέρμανσης, ψύξης και φωτισμού ανάλογα με την παρουσία χρηστών.
- Ενσωμάτωση αισθητήρων για τη συλλογή δεδομένων και τη βελτιστοποίηση της ενεργειακής χρήσης.

Με τη χρήση των παραπάνω συστημάτων έχει παρατηρηθεί αύξηση της αποδοτικότητας κατά 20-30% και βελτίωση της συνολικής ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου (Rocha et al., 2015).

2.2 Μέτρηση και Επαλήθευση (M&V)

2.2.1 Ορισμός και Σκοπός της M&V

Ορισμός

Η Μέτρηση και Επαλήθευση (M&V) είναι η συστηματική διαδικασία που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό και την επαλήθευση της εξοικονόμησης ενέργειας ή άλλων πόρων που προκύπτουν από την εφαρμογή μέτρων ενεργειακής απόδοσης. Βασίζεται σε τεκμηριωμένες μεθόδους, μετρήσεις και μαθηματικές αναλύσεις, που εξασφαλίζουν την ακρίβεια και την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων.

Η M&V εφαρμόζεται σύμφωνα με πρότυπα, όπως το Διεθνές Πρωτόκολλο Μέτρησης και Επαλήθευσης της Απόδοσης (IPMVP), το οποίο παρέχει κατευθυντήριες γραμμές για την υλοποίηση της διαδικασίας (Tanguay, n.d.-d).

Σκοπός της M&V

Η διαδικασία Μέτρησης και Επαλήθευσης (M&V) αποτελεί κρίσιμο εργαλείο για την επιτυχημένη υλοποίηση και αξιολόγηση έργων ενεργειακής αποδοτικότητας. Ο σκοπός της M&V δεν περιορίζεται μόνο στην τεχνική μέτρηση των αποτελεσμάτων, αλλά επεκτείνεται στη διασφάλιση της αξιοπιστίας, της διαφάνειας και της οικονομικής βιωσιμότητας των παρεμβάσεων (Tanguay, n.d.-c). Παρακάτω αναλύονται οι βασικές διαστάσεις του σκοπού της.

Αξιολόγηση της Εξοικονόμησης Ενέργειας

Η M&V στοχεύει στη σαφή και αντικειμενική εκτίμηση της εξοικονόμησης ενέργειας που επιτυγχάνεται μέσω των παρεμβάσεων ενεργειακής απόδοσης. Η αξιολόγηση αυτή επιτυγχάνεται με τη μέτρηση της ενεργειακής κατανάλωσης πριν και μετά την εφαρμογή των μέτρων, λαμβάνοντας υπόψη εξωτερικούς παράγοντες, όπως:

- Κλιματικές συνθήκες (π.χ. θερμοκρασία περιβάλλοντος).
- Αλλαγές στη χρήση ή στη λειτουργία του κτιρίου.
- Διαφορετικά επίπεδα κατοίκησης ή δραστηριότητας.

Η αξιολόγηση δεν περιορίζεται μόνο στην ενεργειακή κατανάλωση αλλά περιλαμβάνει και άλλους πόρους, όπως η κατανάλωση νερού ή η παραγόμενη θερμική ενέργεια (Grillone et al., 2021).

Διασφάλιση Διαφάνειας και Αξιοπιστίας

Η M&V επιτρέπει την ανεξάρτητη επαλήθευση των αποτελεσμάτων των ενεργειακών παρεμβάσεων, εξασφαλίζοντας διαφάνεια στις σχέσεις μεταξύ των εμπλεκόμενων φορέων, όπως οι ιδιοκτήτες κτιρίων, οι επενδυτές, οι χρηματοδοτικοί οργανισμοί και οι εταιρίες που εκτελούν ενεργειακές παρεμβάσεις (Tanguay, n.d.-b).

Η διαφάνεια αυτή είναι απαραίτητη για την οικοδόμηση εμπιστοσύνης μεταξύ των μερών, ιδιαίτερα όταν η εξοικονόμηση ενέργειας αποτελεί το βασικό κριτήριο για την απόδοση μιας επένδυσης.

Τεκμηρίωση της Απόδοσης Επένδυσης (Return on Investment - ROI)

Ένα από τα βασικότερα ζητήματα στην εφαρμογή μέτρων ενεργειακής απόδοσης είναι η αξιολόγηση της οικονομικής τους αποδοτικότητας. Η M&V παρέχει τη βάση για τον ακριβή υπολογισμό του ROI, τεκμηριώνοντας ότι η εξοικονόμηση ενέργειας που επιτυγχάνεται είναι επαρκής για να καλύψει το κόστος της επένδυσης και ότι τα οφέλη (ενεργειακά, οικονομικά και περιβαλλοντικά) είναι βιώσιμα σε βάθος χρόνου (Tanguay, n.d.-c).

Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό σε συμβάσεις Ενεργειακής Απόδοσης (Energy Performance Contracts - EPC), όπου οι εταιρείες εγγυώνται την επίτευξη συγκεκριμένων στόχων εξοικονόμησης.

Υποστήριξη της Λήψης Αποφάσεων

Η Μ&V λειτουργεί ως πολύτιμο εργαλείο για τη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων (Tanguay, n.d.-b). Μέσα από την ανάλυση των δεδομένων, προσφέρει:

- **Επιστημονική Βάση** για την επιλογή μέτρων ενεργειακής απόδοσης που είναι αποδοτικότερα.
- **Αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας** των ήδη εφαρμοσμένων μέτρων.
- **Εντοπισμό ευκαιριών βελτίωσης**, συμβάλλοντας στη συνεχή βελτιστοποίηση των συστημάτων.

Ενίσχυση της Ενεργειακής Ασφάλειας

Με τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης μέσω τεκμηριωμένων παρεμβάσεων, η Μ&V συμβάλλει στη βελτίωση της ενεργειακής ασφάλειας σε εθνικό επίπεδο. Η εξοικονόμηση ενέργειας μειώνει την εξάρτηση από εισαγόμενες πηγές ενέργειας, μειώνοντας τους κινδύνους που συνδέονται με τις διακυμάνσεις τιμών και τις διακοπές στην εφοδιαστική αλυσίδα (Tanguay, n.d.-c).

2.2.2 Το Πλαίσιο IPMVP

Το Διεθνές Πρωτόκολλο Μέτρησης και Επαλήθευσης της Απόδοσης (IPMVP) αποτελεί το πλέον διαδεδομένο και αναγνωρισμένο πλαίσιο για την εκτίμηση της εξοικονόμησης ενέργειας που προκύπτει από την εφαρμογή μέτρων ενεργειακής απόδοσης. Αναπτύχθηκε από τον EVO (Efficiency Valuation Organization) και χρησιμοποιείται διεθνώς για τη διασφάλιση της διαφάνειας, της αξιοπιστίας και της συνέπειας στη διαδικασία Μέτρησης και Επαλήθευσης (M&V) (Tanguay, n.d.-a).

Σκοπός και Χρησιμότητα του IPMVP

Το IPMVP παρέχει μια τυποποιημένη μεθοδολογία για τον καθορισμό και την αξιολόγηση της εξοικονόμησης ενέργειας, προκειμένου:

- Να επιβεβαιώνεται ότι η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας είναι πραγματική και μετρήσιμη.
- Να παρέχει ένα πλαίσιο συγκρισιμότητας για διαφορετικά έργα και επενδύσεις.
- Να καθοδηγεί τους εμπλεκόμενους (ιδιοκτήτες κτιρίων, ενεργειακούς συμβούλους, χρηματοδοτικούς φορείς) στον προσδιορισμό αξιόπιστων και ακριβών μετρήσεων.

Το πρωτόκολλο προσφέρει ευελιξία ώστε να προσαρμόζεται στις διαφορετικές απαιτήσεις κάθε έργου, ενώ διασφαλίζει ότι τα αποτελέσματα της μέτρησης είναι αντικειμενικά και επαληθεύσιμα.

Βασικές Αρχές του IPMVP

Το IPMVP στηρίζεται σε τέσσερις βασικές αρχές:

1. **Ακρίβεια (Accuracy):** Οι μετρήσεις πρέπει να είναι όσο το δυνατόν ακριβέστερες, χρησιμοποιώντας στατιστικές και αναλυτικές μεθόδους για τη μείωση της αβεβαιότητας.
2. **Συνοχή (Consistency):** Η μεθοδολογία πρέπει να εφαρμόζεται με τον ίδιο τρόπο σε διαφορετικά έργα, ώστε να διασφαλίζεται η συγκρισιμότητα των αποτελεσμάτων.

3. **Διαφάνεια (Transparency):** Η τεκμηρίωση και η παρουσίαση των δεδομένων πρέπει να είναι διαφανής και σαφής, ώστε να διευκολύνεται η ανεξάρτητη επαλήθευση.
4. **Αναπαραγωγιμότητα (Reproducibility):** Η M&V πρέπει να είναι δομημένη με τέτοιο τρόπο ώστε άλλοι επαγγελματίες να μπορούν να επαληθεύσουν και να αναπαράγουν τα αποτελέσματα.

Οι Τέσσερις Προσεγγίσεις του IPMVP (IPMVP Options)

Το IPMVP παρέχει τέσσερις διαφορετικές μεθοδολογικές επιλογές (Options) για την εκτίμηση της εξοικονόμησης ενέργειας, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά κάθε έργου.

Option A: Retrofit Isolation - Key Parameter Measurement

- Εφαρμόζεται σε περιπτώσεις όπου η εξοικονόμηση ενέργειας μπορεί να απομονωθεί και να μετρηθεί μόνο σε επιλεγμένους βασικούς παράγοντες.
- Μετριούνται μόνο οι κύριοι παράμετροι που επηρεάζουν την κατανάλωση ενέργειας (π.χ. η ισχύς ενός νέου φωτιστικού LED).
- Χρησιμοποιείται συχνά σε έργα όπου η επίδραση άλλων μεταβλητών είναι μικρή ή αμελητέα.
- Παράδειγμα: Αντικατάσταση παλαιών λαμπτήρων με LED και μέτρηση της κατανάλωσης των νέων λαμπτήρων.

Option B: Retrofit Isolation - All Parameter Measurement

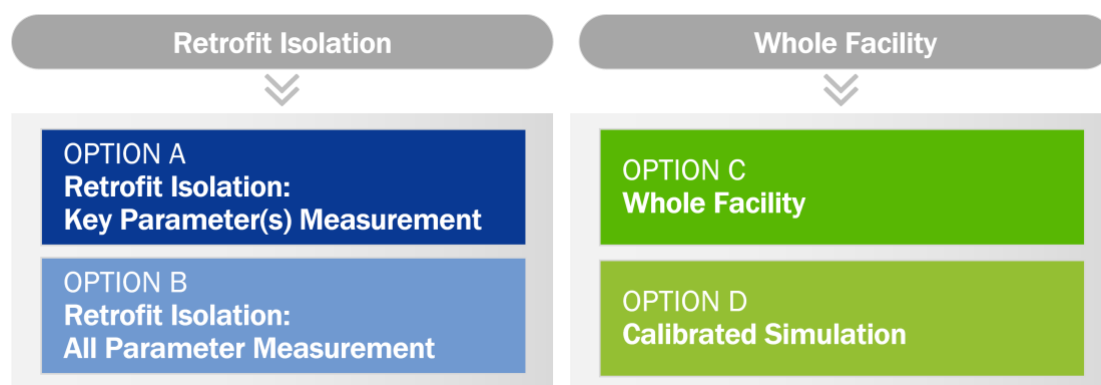
- Σε αντίθεση με την Option A, εδώ μετρώνται **όλοι οι κρίσιμοι παράγοντες** που επηρεάζουν την κατανάλωση.
- Απαιτείται εκτεταμένη συλλογή δεδομένων και συνεχή παρακολούθηση.
- Χρησιμοποιείται όταν οι μεταβλητές που επηρεάζουν την κατανάλωση είναι πολλές και δεν μπορούν να αγνοηθούν.
- Παράδειγμα: Αντικατάσταση λέβητα με υψηλής απόδοσης σύστημα θέρμανσης και παρακολούθηση της κατανάλωσης καυσίμου σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας.

Option C: Whole Facility Measurement

- Η εξοικονόμηση υπολογίζεται με βάση τη συνολική κατανάλωση ενέργειας του κτιρίου, πριν και μετά την εφαρμογή των μέτρων.
- Χρησιμοποιούνται ιστορικά δεδομένα κατανάλωσης και ανάλυση τάσεων.
- Ενδείκνυται για μεγάλης κλίμακας παρεμβάσεις, όπως αναβαθμίσεις σε συστήματα HVAC ή βελτιώσεις στη θερμομόνωση.
- Παράδειγμα: Ενεργειακή αναβάθμιση κτιρίου μέσω πολλαπλών μέτρων και παρακολούθηση της συνολικής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας μέσω έξυπνων μετρητών.

Option D: Calibrated Simulation

- Χρησιμοποιεί προσομοιώσεις (building energy modeling) για την εκτίμηση της εξοικονόμησης ενέργειας.
- Εφαρμόζεται κυρίως όταν δεν υπάρχουν ιστορικά δεδομένα κατανάλωσης ή όταν οι μετρήσεις στο πραγματικό σύστημα είναι δύσκολες.
- Χρησιμοποιείται σε νέα κτίρια ή σε έργα με πολύπλοκες αλληλεπιδράσεις.
- Παράδειγμα: Προσομοίωση της ενεργειακής συμπεριφοράς ενός κτιρίου με και χωρίς εφαρμογή μέτρων ενεργειακής απόδοσης, για τον υπολογισμό της εξοικονόμησης.



Σχήμα 1: Οι τέσσερις διαφορετικές μεθοδολογικές επιλογές του πρωτοκόλλου IPMVP για την εξοικονόμηση ενέργειας (Πηγή : Tanguay, n.d.-a)

2.2.3 Παράγοντες που επηρεάζουν τη Διαδικασία Μέτρησης και Επαλήθευσης

Η επιτυχία της διαδικασίας Μέτρησης και Επαλήθευσης (M&V) εξαρτάται από πολλούς παράγοντες που επηρεάζουν την ακρίβεια και την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων. Αυτοί οι παράγοντες σχετίζονται τόσο με τα τεχνικά χαρακτηριστικά της μέτρησης όσο και με εξωτερικές μεταβλητές που μπορεί να επηρεάσουν την ενεργειακή κατανάλωση.

Ακολουθεί μια παρουσίαση των βασικών παραγόντων που επηρεάζουν τη M&V:

1. Ποιότητα και Διαθεσιμότητα Δεδομένων

Η M&V στηρίζεται στη συλλογή και ανάλυση δεδομένων κατανάλωσης ενέργειας, επομένως η ποιότητα των δεδομένων παίζει κρίσιμο ρόλο. Τα πιο σημαντικά ζητήματα είναι (Bleyl et al., 2024):

- **Η Πληρότητα δεδομένων:** Η ύπαρξη συνεχών, αξιόπιστων δεδομένων πριν και μετά την εφαρμογή των μέτρων είναι απαραίτητη για την ακριβή εκτίμηση της εξοικονόμησης.
- **Η Ακρίβεια μετρήσεων:** Η χρήση χαμηλής ποιότητας ή μη βαθμονομημένων οργάνων μπορεί να οδηγήσει σε σφάλματα.
- **Η Χρονική ανάλυση:** Τα δεδομένα πρέπει να συλλέγονται σε κατάλληλη χρονική κλίμακα (π.χ. ωριαία, ημερήσια, μηνιαία) ώστε να καταγράφονται οι τάσεις κατανάλωσης.

2. Μεταβολές στη Χρήση του Κτιρίου ή της Εγκατάστασης

Η ενεργειακή κατανάλωση ενός κτιρίου ή μιας εγκατάστασης μπορεί να επηρεάζεται από μεταβολές στη χρήση ή τη λειτουργία του, γεγονός που μπορεί να δυσχεράνει τη σύγκριση πριν και μετά την παρέμβαση (Kromer, 2024). Κάποιοι βασικοί παράγοντες που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη είναι:

- **Αλλαγές στην πληρότητα και τη χρήση του κτιρίου:** Αν μετά την ενεργειακή αναβάθμιση αυξηθεί ο αριθμός των ατόμων που χρησιμοποιούν το κτίριο, η κατανάλωση ενέργειας μπορεί να αυξηθεί, χωρίς να σημαίνει ότι τα μέτρα ήταν αναποτελεσματικά.
- **Αλλαγές στη λειτουργία των συστημάτων:** Π.χ. αν ένα νέο σύστημα HVAC λειτουργεί περισσότερες ώρες από το προηγούμενο, η κατανάλωση μπορεί να αυξηθεί παρά την υψηλότερη απόδοσή του.

- **Νέα φορτία:** Προσθήκη εξοπλισμού (π.χ. περισσότερες ηλεκτρονικές συσκευές) μπορεί να αυξήσει την κατανάλωση, κάνοντας πιο δύσκολη την εκτίμηση της εξοικονόμησης.

3. Καιρικές Συνθήκες και Κλιματικοί Παράγοντες

Η εξωτερική θερμοκρασία, η υγρασία και άλλοι κλιματικοί παράγοντες μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά την κατανάλωση ενέργειας, ιδιαίτερα σε εφαρμογές που αφορούν τη θέρμανση, τον κλιματισμό και τον φωτισμό (Kromer, 2024).

2.2.4 Τεχνολογίες Υποστήριξης της M&V

Έξυπνοι Μετρητές (Smart Meters) στην M&V

Οι έξυπνοι μετρητές (smart meters) είναι βασικά εργαλεία στη Μέτρηση & Επαλήθευση (M&V), καθώς επιτρέπουν την ακριβή, συνεχόμενη και απομακρυσμένη καταγραφή δεδομένων σχετικά με την κατανάλωση ενέργειας σε κτίρια. Σε αντίθεση με τους παραδοσιακούς μετρητές, οι έξυπνοι μετρητές προσφέρουν πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο, επιτρέποντας έτσι την άμεση λήψη αποφάσεων για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης (Odunayo Abosede Oluokun et al., 2025).

Κάποια από τα βασικά χαρακτηριστικά τους είναι:

- **Αυτόματη καταγραφή δεδομένων:** Οι έξυπνοι μετρητές συλλέγουν και αποθηκεύουν δεδομένα κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας σε υψηλή χρονική ανάλυση (π.χ., κάθε 15 λεπτά ή ακόμα και κάθε δευτερόλεπτο).
- **Απομακρυσμένη επικοινωνία:** Τα δεδομένα μεταδίδονται μέσω ασύρματων ή ενσύρματων δικτύων (Wi-Fi, Zigbee, LoRaWAN, NB-IoT, 4G/5G).
- **Διαδραστική λειτουργία:** Μπορούν να επικοινωνούν αμφίδρομα με τα κεντρικά συστήματα διαχείρισης ενέργειας.
- **Ανάλυση σε πραγματικό χρόνο:** Επιτρέπουν τη γρήγορη ανίχνευση ανωμαλιών και την εφαρμογή διορθωτικών μέτρων.
- **Ενσωμάτωση με IoT:** Συνεργάζονται με αισθητήρες και αυτοματοποιημένα συστήματα για την καλύτερη διαχείριση της ενεργειακής κατανάλωσης.

Συστήματα Αυτοματισμού Κτιρίων (Building Automation Systems - BAS & BEMS)

Τα Συστήματα Αυτοματισμού Κτιρίων (BAS - Building Automation Systems) αποτελούν έναν από τους βασικούς τεχνολογικούς πυλώνες της Μέτρησης & Επαλήθευσης, καθώς επιτρέπουν τη βελτιστοποίηση της ενεργειακής απόδοσης μέσω της παρακολούθησης, ελέγχου και αυτοματοποίησης διαφόρων συστημάτων σε ένα κτίριο (Sayed & Gabbar, 2017).

Κάποιες από τις δυνατότητες των παραπάνω συστημάτων είναι:

1. **Εποπτεία και Παρακολούθηση σε Πραγματικό Χρόνο**
Τα BAS επιτρέπουν τη συνεχή καταγραφή δεδομένων και την εμφάνισή τους σε διαδραστικούς πίνακες ελέγχου (dashboards), διευκολύνοντας τη λήψη αποφάσεων.
2. **Αυτοματοποιημένος Έλεγχος και Προγραμματισμός**
Τα συστήματα μπορούν να προγραμματιστούν ώστε να προσαρμόζουν τη λειτουργία των ενεργειακών συστημάτων με βάση ωράρια λειτουργίας, εξωτερικές καιρικές συνθήκες, επίπεδα πληρότητας του κτιρίου κ.λπ.
3. **Εφαρμογή Αλγορίθμων Βελτιστοποίησης**
Μέσω τεχνητής νοημοσύνης (AI) και μηχανικής μάθησης (ML), τα σύγχρονα BAS μπορούν να προβλέπουν ενεργειακές ανάγκες και να προσαρμόζουν δυναμικά τις παραμέτρους λειτουργίας για μέγιστη εξοικονόμηση ενέργειας.
4. **Ενοποίηση με Έξυπνα Δίκτυα (Smart Grids)**

Τα BAS μπορούν να ανταλλάσσουν δεδομένα με δίκτυα ηλεκτροδότησης, επιτρέποντας την αποδοτική αξιοποίηση ανανεώσιμων πηγών και την αποφυγή αιχμών ζήτησης.

Λογισμικά Προσομοίωσης και Ανάλυσης Δεδομένων

Τα λογισμικά προσομοίωσης και ανάλυσης δεδομένων διαδραματίζουν κεντρικό ρόλο στη Μέτρηση και Επαλήθευση, καθώς επιτρέπουν την εκτίμηση, σύγκριση και επαλήθευση της ενεργειακής απόδοσης πριν και μετά την εφαρμογή μέτρων ενεργειακής αναβάθμισης (Shahcheraghian et al., 2024).

Τα λογισμικά προσομοίωσης είναι εργαλεία που χρησιμοποιούνται για:

- Μοντελοποίηση της ενεργειακής συμπεριφοράς των κτιρίων,
- Αναπαραγωγή συνθηκών κατανάλωσης ενέργειας με βάση φυσικά χαρακτηριστικά, καιρικά δεδομένα, χρήστες κ.λπ.
- Εκτίμηση της απόδοσης μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας (EEMs - Energy Efficiency Measures)
- Σύγκριση πραγματικών δεδομένων κατανάλωσης με προβλεπόμενες τιμές
- Δημιουργία σεναρίων για διαφορετικές στρατηγικές διαχείρισης ενέργειας

Τα λογισμικά ανάλυσης δεδομένων επιτρέπουν την επεξεργασία και εξόρυξη γνώσης από μεγάλους όγκους δεδομένων που συλλέγονται από έξυπνους μετρητές, αισθητήρες και BAS.

Βασικές λειτουργίες είναι: η ανάλυση χρονοσειρών ενεργειακής κατανάλωσης, η ανίχνευση αποκλίσεων και ανωμαλιών (π.χ. υπερκατανάλωση), τα μοντέλα πρόβλεψης κατανάλωσης μέσω τεχνητής νοημοσύνης και η αποτίμηση της αποτελεσματικότητας των μέτρων ενεργειακής απόδοσης. Κάποια δημοφιλή λογισμικά είναι (Shahcheraghian et al., 2024):

- Τα EnergyPlus και eQuest που αφορούν τη προσομοίωση της ενέργειας Κτιρίων
- Τα RETScreen, OpenStudio, PULSE Energy Manager που σχετίζονται με την ανάλυση των ενεργειακών δεδομένων και τη Μέτρηση και Επαλήθευση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

3 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

Η κατανόηση του υφιστάμενου επιστημονικού πλαισίου σχετικά με τη μέτρηση και επαλήθευση ενεργειακών παρεμβάσεων, καθώς και την ενσωμάτωση μη ενεργειακών οφελών (non-energy benefits - NEBs), αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση για την ανάπτυξη μιας ολιστικής μεθοδολογίας αξιολόγησης ενεργειακών έργων. Το παρόν κεφάλαιο παρουσιάζει τη βιβλιογραφική επισκόπηση που πραγματοποιήθηκε σε δύο άξονες: (α) τις μεθόδους Measurement & Verification (M&V) για την αποτίμηση ενεργειακών παρεμβάσεων, και (β) τα NEBs που προκύπτουν από τέτοιες παρεμβάσεις, καθώς και τα μέσα αξιολόγησής τους.

Η ανασκόπηση βασίστηκε στην ανάλυση 40 επιλεγμένων επιστημονικών άρθρων, με 20 άρθρα να εστιάζουν σε M&V μεθόδους και 20 άρθρα να αναφέρονται σε NEBs. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται μέσω συγκριτικών και συγκεντρωτικών πινάκων, οι οποίοι αξιοποιούνται σε επόμενο στάδιο της εργασίας για την επιλογή κριτηρίων και υποκριτηρίων αξιολόγησης.

3.1 Μέθοδοι Μέτρησης και Επαλήθευσης (Measurement & Verification - M&V)

Η μέτρηση και επαλήθευση της ενεργειακής απόδοσης (M&V) αποτελεί καθοριστικό μηχανισμό για την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας ενεργειακών παρεμβάσεων. Μέσω της ανασκόπησης 20 επιστημονικών εργασιών, μελετήθηκαν διαφορετικές μεθοδολογικές προσεγγίσεις M&V, καθώς και οι εφαρμογές τους σε κτιριακά έργα.

Οι συνηθέστερες κατηγορίες M&V που εντοπίστηκαν περιλαμβάνουν:

- Το Διεθνές Πρωτόκολλο IPMVP, με τις τέσσερις επιλογές του (A: υπομέτρηση, B: πλήρης μέτρηση, C: whole-facility analysis, D: προσομοιώσεις).
- Στατιστικές προσεγγίσεις (regression models, change point models).
- Μοντέλα προσομοίωσης βασισμένα σε φυσικές αρχές (white-box).
- Δεδομενοκεντρικές μέθοδοι (data-driven ή black-box), συχνά με χρήση τεχνικών μηχανικής μάθησης.

Ο Πίνακας 1 παρουσιάζει συγκεντρωτικά τις βασικές πληροφορίες που εξήχθησαν από κάθε άρθρο, όπως η μεθοδολογική προσέγγιση, οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται, το είδος των παρεμβάσεων, καθώς και τα πλεονεκτήματα και περιορισμοί κάθε μεθόδου.

Πίνακας 1 : Σύγκριση Τεχνολογιών και Προσεγγίσεων στη Μέτρηση και Επαλήθευση (M&V)

Συγγραφέας	Τεχνολογική Προσέγγιση	Πλεονεκτήματα	Περιορισμοί
Grillone et al. (2021)	Στατιστικό Μοντέλο (EEM), Machine learning algorithm (GBM, XGBoost)	Υψηλή ακρίβεια για σύνθετα συστήματα κτιρίων	Απαίτηση ποιοτικών δεδομένων, πολυπλοκότητα υλοποίησης
Woo et al. (2021)	Blockchain, IoT	Διαφάνεια, ασφάλεια, αυτοματοποίηση	Υψηλές απαιτήσεις πόρων, τεχνολογική πολυπλοκότητα
Gallagher et al. (2018)	Machine learning (SVR, ANN)	Παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο, επεκτασιμότητα	Μεγάλη απαίτηση δεδομένων, σύνθετη τεχνολογική υποδομή
Sarmas et al. (2023)	Ensemble models (RF, XGBoost)	Προσαρμοσμένο για βιομηχανικά κτίρια, χρήσιμες πληροφορίες	Υπολογιστική απαίτηση πόρων, πολυπλοκότητα ρύθμισης
Granderson et al. (2016)	AMI, Random Forest, Regression	Βελτιωμένη ακρίβεια, επεκτασιμότητα	Εξάρτηση από τη ποιότητα των δεδομένων, επιλογή κατάλληλου μοντέλου
Nastasi et al. (2022)	Regression-based TOWT	Προσαρμόσιμο σε μεταβαλλόμενες συνθήκες, διαφανές	Περιορισμένο σε ακραία μεταβλητότητα, δυσκολία σε μεγαλύτερα κτίρια
Gallagher et al. (2019)	Cloud Computing, IoT, Machine Learning	Παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο, χαμηλό κόστος	Εξάρτηση από cloud/διαδίκτυο, black-box μοντέλα-μηδιαφανή
Alrobaie & Krarti (2023)	Linear Regression, Ensemble Models, SHAP	Αρθρωτό, εύκολα ερμηνεύσιμο	Απαίτηση μεγάλων δεδομένων, εξειδικευμένες γνώσεις
Burkhart et al. (2014)	Gaussian Process, MCEM	Υψηλή ακρίβεια υπό αβεβαιότητα δεδομένων, μειωμένη ζήτηση δεδομένων	Υψηλό υπολογιστικό κόστος, λιγότερο ερμηνεύσιμο για μη ειδικούς
Owolabi et al. (2020)	RETScreen Software, IPMVP	Φιλική προς το χρήστη, τυποποιημένη διαδικασία M&V	Περιορισμένη ευελιξία, εξαρτάται από την ποιότητα των προηγούμενων δεδομένων
Olinga et al. (2017)	Cost Minimization Model	Οικονομικά αποδοτική δειγματοληψία και μοντελοποίηση	Πολυπλοκότητα στην εφαρμογή,

			περιορισμένο πεδίο εφαρμογής
Manfren & Nastasi (2023)	TOWT Regression, Data-Driven	Υψηλή ερμηνευσιμότητα, δυνατότητες αυτοματοποίησης	Περιορίζεται σε συγκεκριμένα σενάρια, απαιτεί λεπτομερή δεδομένα
Sukarti et al. (2024)	Deep Neural Networks with Feature Selection	Υψηλή ακρίβεια με μικρότερα σύνολα δεδομένων, προηγμένη επιλογή χαρακτηριστικών	Υψηλές υπολογιστικές ανάγκες, προβλήματα ερμηνευσιμότητας
Agensis-Nevers et al. (2021)	Multi-Model Selection Framework	Βελτιωμένη ακρίβεια, επεκτασιμότητα σε πολλαπλά κτίρια	Επιλογή πολύπλοκου μοντέλου που απαιτεί πολλά δεδομένα
Ke et al. (2013)	eQUEST Software, IPMVP Option D	Υψηλή ακρίβεια με βαθμονομημένα μοντέλα, ανάλυση κρούσης	Εξάρτηση από εισροές, περιορισμένη ευελιξία
Granderson et al. (2015)	Change Point, Degree-Day Models	Ισχυρή επικύρωση, εφαρμογή μεγάλης κλίμακας	Περιορίζεται σε δημόσια μοντέλα, απαιτεί μεγάλη χρήση δεδομένων
Blejl et al. (2024)	sM&V + QAI	Προσβάσιμο, οικονομικό, πρακτικό για μικρότερα έργα	Λιγότερο ακριβείς, περιορισμένες πληροφορίες δεδομένων για τη διοίκηση
Ssembatya et al. (2024)	Inverse Models, Gordon-Ng	Βραχυπρόθεσμη σκοπιμότητα δεδομένων, εποχικά προσαρμόσιμη	Πολυπλοκότητα μοντέλου, περιορισμοί απόδοσης που σχετίζονται με το κλίμα
Moraliyage et al. (2022)	XGBoost, SHAP, IoT Sensors	Σε πραγματικό χρόνο, επεκτάσιμο για περιβάλλοντα πολλαπλών πανεπιστημιακών πόλεων	Υψηλές υπολογιστικές απαιτήσεις, απαιτούν προηγμένη εξειδίκευση
Newsham (2019)	Regression, IPMVP Option C	Παρόμοιες εκτιμήσεις για μηνιαία και ωριαία δεδομένα, λεπτομερής ανάλυση ECM	Περιορισμένη ανίχνευση ECM <10% της συνολικής χρήσης ενέργειας

3.2 Μη Ενεργειακά Οφέλη (Non-Energy Benefits - NEBs)

Η ενεργειακή αναβάθμιση κτιρίων συχνά συνοδεύεται από ποικίλα μη ενεργειακά οφέλη, τα οποία επηρεάζουν άμεσα την ποιότητα ζωής των χρηστών, την απόδοση των οργανισμών, και τη συνολική αξία των ακινήτων. Ωστόσο, τα οφέλη αυτά τείνουν να υποεκτιμώνται κατά την αξιολόγηση έργων ενεργειακής αποδοτικότητας.

Για τον λόγο αυτό, πραγματοποιήθηκε βιβλιογραφική επισκόπηση 20 πρόσφατων επιστημονικών μελετών που εξετάζουν τα NEBs, με στόχο την καταγραφή και κατηγοριοποίησή τους. Οι Πίνακες 2 και 3 παρουσιάζουν συνοπτικά τα κύρια NEBs που εντοπίστηκαν ανά μελέτη και τη μορφή αξιολόγησης που υιοθετήθηκε (ποιοτική ή ποσοτική).

Πίνακας 2 : Σύγκριση των NEBs σχετικά με την Περιοχή Εφαρμογής, την Ποιότητα Εσωτερικού Αέρα και τη Θερμική Άνεση

Μελέτη	Περιοχή Εφαρμογής	Μη ενεργειακά οφέλη	Επίδραση στην Ποιότητα Εσωτερικού Αέρα (IAQ)	Επίδραση στη Θερμική Άνεση
Coggins et al. (2024)	Κοινωνική κατοικία, Ιρλανδία	Βελτίωση θερμικής ικανοποίησης, πιθανά οφέλη υγείας	Μικτά αποτελέσματα: αύξηση CO ₂ και PM2.5	Ενισχυμένη θερμική άνεση
Run et al. (2023)	Πανεπιστημιακά κτίρια, Γαλλία	Εξοικονόμηση ενέργειας, ικανοποίηση χρηστών	Περιορισμένη βελτίωση IAQ, αύξηση CO ₂ σε ορισμένους χώρους	Βελτιωμένη άνεση με ελεγχόμενη θερμοκρασία
Li et al. (2024)	Συσκευές θέρμανσης γραφείων	Εξοικονόμηση ενέργειας, στοχευμένη άνεση	Δεν εξετάζεται άμεσα	Βελτιωμένη άνεση με αποδοτική, στοχευμένη θέρμανση
Hassan et al. (2024)	Κατοικίες, Ιρλανδία	Ενισχυμένη άνεση ενοίκων	Αύξηση PM2.5 και φορμαλδεΐδης, ανάγκη για καλύτερο αερισμό	Σημαντική βελτίωση άνεσης

Földváry et al. (2017)	Πολυκατοικίες, Σλοβακία	Εξοικονόμηση ενέργειας, μέτρια άνεση	Αύξηση CO ₂ και φορμαλδεΐδης, χαμηλότεροι ρυθμοί αερισμού	Μικρή βελτίωση άνεσης, περιορισμένη από αερισμό
Kanama et al. (2023)	Δημοτικό σχολείο, ρυπασμένη κοιλάδα Γαλλίας	Μείωση αίσθησης αποπνικτικότητας, καλύτερη ροή αέρα	Αύξηση PM2.5 λόγω εισροής εξωτερικής ρύπανσης	Αυξημένη άνεση λόγω καλύτερης ροής αέρα
Ismaeel & Mohamed (2022)	Εργαλείο λήψης αποφάσεων για ανακαινίσεις	Μείωση συμπτωμάτων Συνδρόμου Ασθενούς Κτιρίου	Ολιστική προσέγγιση IAQ	Δεν εξετάζεται άμεσα
Shi et al. (2023)	Ανακαινίσεις νοσοκομειακών θαλάμων	Βελτιωμένη ανάρρωση ασθενών	Δεν συζητείται άμεσα	Εξατομικευμένες βελτιώσεις άνεσης
Awada & Srour (2018)	Βελτιστοποίηση IEQ σε γραφεία	Καλύτερο εργασιακό περιβάλλον, αυξημένη διατήρηση προσωπικού	Εξετάζεται μέσω βελτιστοποίησης IEQ	Βελτιωμένη άνεση που σχετίζεται με παραγωγικότητα
Yang et al. (2020)	Ενεργειακά αποδοτικές κατοικίες, Ελβετία	Βελτιωμένη IAQ σε πιστοποιημένες κατοικίες, σταθερή ικανοποίηση ενοίκων	Χαμηλότεροι ρύποι σε πιστοποιημένα Minergie	Συγκρίσιμα επίπεδα άνεσης
Feng et al. (2024)	Ανακαινίσεις γραφείων, Σουηδία	Ενίσχυση ενεργειακά αποδοτικής συμπεριφοράς, ευελιξία αλληλεπίδρασης χρηστών	Δεν δίνεται έμφαση	Σημαντική επίδραση συμπεριφοράς χρηστών

Li et al. (2023)	Δημόσιοι χώροι, Πεκίνο	Ενίσχυση συμμετοχής κοινού, βελτίωση μικροκλίματος και θερμικής άνεσης	Δεν εξετάζεται άμεσα	Αναζωογόνηση ιστορικών κοινοτήτων
Avanzini et al. (2022)	Δημόσια κατοικία, Λισαβόνα	Μείωση κόστους δημόσιας υγείας λόγω αντιμετώπισης ενεργειακής φτώχειας, κοινωνική ισότητα	Βελτιωμένη IAQ με μείωση μούχλας και υγρασίας, παρατηρούνται ζητήματα φορμαλδεΐδης και PM	Σημαντική βελτίωση άνεσης, λιγότερες ασθένειες από ψύχος
Haverinen-Shaughnessy et al. (2018)	Πολυκατοικίες, Φινλανδία & Λιθουανία	Βελτίωση ικανοποίησης από IEQ, μείωση αναπνευστικών συμπτωμάτων μετά από ανακαινίσεις	Μείωση CO ₂ και PM2.5, IAQ εξαρτάται από στρατηγικές αερισμού	Βελτιωμένη θερμική άνεση τον χειμώνα
Coggins et al. (2022)	Βαθιές ενεργειακές ανακαινίσεις, Ιρλανδία	Καλύτερος αερισμός, βελτίωση υγείας και θερμικής άνεσης	Προκλήσεις με ραδόνιο και φορμαλδεΐδη λόγω στεγανότητας	Βελτιωμένη άνεση σύμφωνα με αναφορές ενοίκων
Fisk et al. (2020)	Ανασκόπηση 36 μελετών για ανακαινίσεις	Βελτίωση ελέγχου μούχλας και υγρασίας, ικανοποίηση ενοίκων	Μείωση υγρασίας, μούχλας, κάποιων ρύπων, αλλά ζητήματα με ραδόνιο/φορμαλδεΐδη	Αύξηση θερμοκρασίας εσωτερικών χώρων, βελτίωση άνεσης
Omelekhina et al. (2022)	Ενοικιαζόμενα διαμερίσματα, Σουηδία	Μείωση PM2.5 μετά από ανακαίνιση, ανάλυση επιπέδων UFP λόγω δραστηριοτήτων	Μείωση PM2.5, τα UFP επηρεάζονται περισσότερο από δραστηριότητες ενοίκων	Δεν εξετάζεται άμεσα
Spiekman et al. (2022)	Ανακαινίσεις χαμηλής ενέργειας, Ολλανδία	Εντοπισμός διαφορών απόδοσης λόγω συμπεριφοράς ενοίκων, συστάσεις για σχεδιασμό	Έμμεση επίδραση λόγω προσαρμογών συμπεριφοράς (π.χ. άνοιγμα παραθύρων)	Η άνεση ποικίλλει, κάποιες ενοχλήσεις οδηγούν σε μη αποδοτικές συμπεριφορές

Chatterjee & Ürge-Vorsatz (2021)	Οφέλη παραγωγικότητας από ενεργειακά αποδοτικά κτίρια	Μείωση απουσιών λόγω ασθένειας, βελτίωση ποιότητας ζωής	Δεν συζητείται άμεσα	Βελτίωση ικανοποίησης λόγω καλύτερων θερμικών συνθηκών
Roumi et al. (2023)	Σταθμίσεις IEQ για ανακαινίσεις γραφείων	Οδηγίες για εξισορρόπηση ικανοποίησης και εξοικονόμησης ενέργειας	Έμφαση σε υλικά χαμηλών εκπομπών και αερισμό για καλύτερο IAQ	Η θερμική άνεση αποτελεί κορυφαία προτεραιότητα

Πίνακας 3 : Σύγκριση των NEBs σχετικά με τα Οφέλη Υγείας, Παραγωγικότητας, τα Κοινωνικά και Οικονομικά Οφέλη

Μελέτη	Οφέλη Υγείας	Οφέλη Παραγωγικότητας	Κοινωνικά Οφέλη	Οικονομικά Οφέλη
Coggins et al. (2024)	Μείωση ασθενειών σχετιζόμενων με το κρύο	Δεν αναφέρεται άμεσα	Βελτιωμένη ικανοποίηση με τις συνθήκες κατοικίας	Πιθανή αύξηση της αξίας ακινήτου
Run et al. (2023)	Μείωση ημερών ασθένειας για φοιτητές	Βελτιωμένη συγκέντρωση και ακαδημαϊκή απόδοση	Καλύτερες συνθήκες εργασίας και μάθησης	Δεν δίνεται έμφαση
Li et al. (2024)	Δεν αναφέρεται	Αυξημένη ικανοποίηση με το εργασιακό περιβάλλον	Μεγαλύτερη ευελιξία στον χώρο εργασίας	Μειωμένο κόστος συντήρησης συστημάτων HVAC
Hassan et al. (2024)	Μειωμένος κίνδυνος αναπνευστικών προβλημάτων	Δεν αναφέρεται άμεσα	Βελτιωμένη ποιότητα ζωής και διαβίωσης	Αυξημένη ελκυστικότητα στην αγορά ακινήτων
Földváry et al. (2017)	Μειωμένη έκθεση σε ακραίο ψύχος	Δεν αναφέρεται	Καλύτερη κοινωνική συνοχή στις ανακαινισμένες κοινότητες	Αυξημένη ικανοποίηση ενοικιαστών
Kanama et al. (2023)	Μείωση αποπνικτικότητας, λιγότεροι πονοκέφαλοι	Βελτιωμένη απόδοση και παρουσία μαθητών	Υγιέστερο περιβάλλον για παιδιά	Δεν δίνεται έμφαση
Ismaeel & Mohamed (2022)	Μειωμένοι κίνδυνοι υγείας λόγω Συνδρόμου	Υψηλότερη ικανοποίηση από βελτίωση IAQ	Καλύτερες συνθήκες διαβίωσης και εργασίας	Βελτιστοποίηση αποφάσεων για οικονομικά αποδοτικές ανακαινίσεις

	Ασθενούς Κτιρίου (SBS)			
Shi et al. (2023)	Βελτιωμένη υγεία ασθενών	Μειωμένος χρόνος ανάρρωσης, ικανοποίηση προσωπικού	Βελτιωμένο θεραπευτικό περιβάλλον για ασθενείς	Μειωμένο λειτουργικό κόστος για υγειονομικές εγκαταστάσεις
Awada & Srouf (2018)	Μείωση στρες, καλύτερη ψυχική υγεία	Αυξημένη παραγωγικότητα μέσω βελτιστοποίησης IEQ	Βελτιωμένο ηθικό και διατήρηση προσωπικού	Μεγαλύτερη αποδοτικότητα από βελτιστοποιημένες λειτουργίες
Yang et al. (2020)	Λιγότεροι κίνδυνοι έκθεσης σε ρύπους	Δεν αναφέρεται άμεσα	Αυξημένη ευαισθητοποίη ση σε ενεργειακά αποδοτικά συστήματα	Βελτιωμένη αξία ακινήτου με πιστοποίηση
Feng et al. (2024)	Αλλαγές συμπεριφοράς που σχετίζονται με την άνεση	Αυξημένο δυναμικό εξοικονόμησης ενέργειας	Καλύτερη συνεργασία μεταξύ χρηστών και σχεδιαστών	Μειωμένες λειτουργικές ανεπάρκειες
Li et al. (2023)	Καλύτερη θερμική άνεση σε δημόσιους χώρους	Αυξημένη κοινωνική συνοχή	Βελτιωμένη χρηστικότητα των δημόσιων χώρων	Αυξημένη τουριστική και πολιτιστική δραστηριότητα
Avanzini et al. (2022)	Μειωμένο κόστος υγείας λόγω λιγότερων αναπνευστικών / καρδιαγγειακών προβλημάτων	Δεν αναφέρεται άμεσα	Βελτίωση ποιότητας ζωής και ισότητας για ευάλωτες ομάδες	Μακροπρόθεσμα οφέλη για τα δημόσια συστήματα υγείας
Haverinen- Shaughnes sy et al. (2018)	Λιγότερες αναπνευστικές λοιμώξεις, καλύτερη ποιότητα ύπνου	Μειωμένη απουσία από εργασία/σχολείο	Αυξημένη ικανοποίηση ενοικιαστών	Μακροπρόθεσμη εξοικονόμηση κόστους λόγω βελτίωσης υγείας
Coggins et al. (2022)	Καλύτερα αποτελέσματα υγείας λόγω μειωμένης έκθεσης σε ρύπους	Δεν αναφέρεται άμεσα	Αυξημένη ικανοποίηση ενοίκων με τις συνθήκες κατοικίας	Μειωμένο ενεργειακό κόστος λόγω αποδοτικότερων ανακαινίσεων
Fisk et al. (2020)	Λιγότερα αναπνευστικά συμπτώματα, μικτά	Δεν αναφέρεται άμεσα	Αυξημένη ικανοποίηση με τις συνθήκες διαμονής	Μειωμένο κόστος υγείας λόγω βελτίωσης IAQ

	αποτελέσματα για άσθμα			
Omelekhin et al. (2022)	Μειωμένη έκθεση σε PM2.5, επισημαίνεται ο κίνδυνος UFP λόγω μαγειρέματος	Δεν αναφέρεται άμεσα	Ανάγκη για εκπαίδευση συμπεριφοράς για βέλτιστα οφέλη υγείας	Δυνατότητα εξοικονόμησης ενέργειας με βελτιστοποιημένο αερισμό
Spiekman et al. (2022)	Δεν αναφέρεται άμεσα	Συστάσεις για βελτίωση αλληλεπίδρασης χρηστών με τα συστήματα	Καλύτερη προσαρμογή των ανακαινίσεων στις ανάγκες των χρηστών	Μείωση του κενού απόδοσης για μακροπρόθεσμα οικονομικά οφέλη
Chatterjee & Ürges-Vorsatz (2021)	Λιγότερες ημέρες ασθένειας, περισσότερα υγιή έτη ζωής	Αυξημένη παραγωγικότητα, επανάκτηση εργασιμων ημερών	Βελτίωση ποιότητας ζωής λόγω υγείας	337 εκατ. ευρώ ετήσια εξοικονόμηση στον γερμανικό οικιακό τομέα
Roumi et al. (2023)	Καλύτερη ψυχική υγεία λόγω λιγότερων περισπασμών	Αυξημένη ικανοποίηση από βελτίωση φωτισμού και ακουστικής	Συνεργατικές στρατηγικές ανακαίνισης για πολλαπλές ανάγκες	Δείκτης αποτελεσματικότητας IEQ για οικονομικά αποδοτικές ανακαινίσεις

Από τη σύνθεση των παραπάνω προέκυψαν εννέα βασικές κατηγορίες NEBs:

1. Ποιότητα αέρα εσωτερικού χώρου
2. Εσωτερική θερμική άνεση
3. Οφέλη υγείας
4. Παραγωγικότητα
5. Κοινωνικά οφέλη
6. Οικονομικά οφέλη
7. Βελτιώσεις της συμπεριφοράς
8. Ακουστική άνεση
9. Οπτική άνεση

Οι κατηγορίες αυτές αποτυπώνονται στον Πίνακα 4, ο οποίος παρουσιάζει ανά κατηγορία τους σχετικούς δείκτες αξιολόγησης (indicators), τις αντίστοιχες μονάδες μέτρησης (measurement units), καθώς και τυχόν κατώφλια (thresholds) που έχουν εντοπιστεί στη βιβλιογραφία.

Πίνακας 4 : Συγκριτικός πίνακας των επιλεγμένων NEBs σχετικά με τους δείκτες αξιολόγησης και τις μονάδες μέτρησης

Μη ενεργειακά οφέλη	Δείκτες αξιολόγησης	Μονάδες μέτρησης + Τυχόν Κατώφλι	Πηγές
Ποιότητα αέρα εσωτερικού χώρου	CO ₂ , PM _{2.5} , VOCs, radon	CO ₂ (<1000 ppm), PM _{2.5} (<10 µg/m ³), VOCs (low emission), radon (EPA: <4 pCi/L)	Coggins et al. (2022), Fisk et al. (2020), Avanzini et al. (2022), Haverinen-Shaughnessy et al. (2018), Omelekhina et al. (2022)
Εσωτερική θερμική άνεση	Θερμοκρασία, σχετική υγρασία (RH)	Χειμώνας: 20-24 °C Καλοκαίρι: 23-26 °C Σχετική υγρασία: 30-60%	Roumi et al. (2023), Fisk et al. (2020), Haverinen-Shaughnessy et al. (2018), Spiekman et al. (2022)
Οφέλη υγείας	Αναπνευστικά συμπτώματα, καρδιαγγειακά προβλήματα, κόστος υγειονομικής περίθαλψης	Λιγότερες επισκέψεις σε νοσοκομεία, μειωμένες απουσίες, βελτιωμένη αυτοαναφερόμενη υγεία	Chatterjee & Ürges-Vorsatz (2021), Fisk et al. (2020), Avanzini et al. (2022), Haverinen-Shaughnessy et al. (2018), Coggins et al. (2022)
Παραγωγικότητα	Ανακτημένες εργάσιμες ημέρες, γνωστική εστίαση, παρουσία	+5,2 εργάσιμες ημέρες/έτος (Γερμανία). Βελτίωση συγκέντρωσης μέσω ερευνών.	Chatterjee & Ürges-Vorsatz (2021), Roumi et al. (2023), Spiekman et al. (2022)
Κοινωνικά οφέλη	Ικανοποίηση ενοικιαστών, ισότητα, ποιότητα ζωής	Αυτοαναφορές για βελτιωμένες συνθήκες διαβίωσης/εργασίας, καλύτερη ένταξη	Avanzini et al. (2022), Haverinen-Shaughnessy et al. (2018), Kanama et al. (2023)
Οικονομικά οφέλη	Εξοικονόμηση κόστους δημόσιας υγείας, εξοικονόμηση ενέργειας, απόδοση επένδυσης (ROI)	337 εκατ. ευρώ/έτος (Γερμανία), υπολογισμοί απόδοσης επένδυσης (ROI)	Chatterjee & Ürges-Vorsatz (2021), Fisk et al. (2020), Avanzini et al. (2022)
Βελτιώσεις της συμπεριφοράς	Ενεργοποίηση χρηστών, ενέργειες εξοικονόμησης ενέργειας	Έρευνες συμπεριφοράς, πρότυπα πληρότητας	Spiekman et al. (2022), Omelekhina et al. (2022), Feng et al. (2024)

Ακουστική άνεση	Επίπεδα θορύβου, ιδιωτικότητα ομιλίας	Όρια dB: <35 dB (γραφεία), <30 dB (υπνοδωμάτια)	Roumi et al. (2023), Kanama et al. (2023)
Οπτική άνεση	Διαθεσιμότητα φυσικού φωτός, αντανάκλαση, οπτική ικανοποίηση	Φως ημέρας (300-500 lx), μείωση της αντανάκλασης	Roumi et al. (2023), Li et al. (2023)

3.3 Ανάλυση Δεικτών και Διαμόρφωση Υποκριτηρίων

Με βάση τους δείκτες που εντοπίστηκαν για κάθε κατηγορία NEB, διαμορφώθηκε ένα αναλυτικό σύνολο υποκριτηρίων, το οποίο χρησιμοποιήθηκε σε επόμενο στάδιο της παρούσας εργασίας για την αξιολόγηση των NEBs μέσω πολυκριτηριακής ανάλυσης. Κάθε δείκτης αντιστοιχήθηκε σε ένα υποκριτήριο, δημιουργώντας έτσι μια λεπτομερή δομή αποτίμησης ανά κατηγορία.

Ο Πίνακας 5 συνοψίζει τα επιλεγμένα evaluation metrics και την αντιστοίχισή τους με τα εννέα NEBs.

Πίνακας 5 : Μετρικές αξιολόγησης και Υποκριτήρια ανά κατηγορία NEB

Μη ενεργειακό όφελος	Μετρικές αξιολόγησης
Ποιότητα αέρα εσωτερικού χώρου	<u>Ποσοστό επίτευξης των χρονικών ορίων</u> - Μέσα επίπεδα CO ₂ (ppm) με την πάροδο του χρόνου. - Συγκεντρώσεις PM _{2,5} (μg/m ³). - Αριθμός ημερών με υπέρβαση των ορίων ρύπων.
Εσωτερική θερμική άνεση	<u>Ποσοστό χρόνου εντός εύρους άνεσης</u> - Ποσοστό χρόνου που η εσωτερική θερμοκρασία εμπίπτει στο εύρος άνεσης (20-26 °C). - Μέση σχετική υγρασία (%).
Οφέλη υγείας	<u>% μείωση των ημερών ασθένειας ή των επισκέψεων</u> - Μείωση των αναφερόμενων αναπνευστικών προβλημάτων (%). - Αριθμός ημερών ασθένειας ανά ένοικο. - Ποσοστιαία μεταβολή στις επισκέψεις υγειονομικής περίθαλψης.
Παραγωγικότητα	- Εργάσιμες ημέρες που κερδίστηκαν ανά έτος (μέσος όρος ανά ένοικο). - Επίπεδα εστίασης που αναφέρθηκαν από τον ίδιο τον εργαζόμενο (κλίμακα 1-5). - Βελτιώσεις στον χρόνο ολοκλήρωσης εργασιών (%).
Κοινωνικά οφέλη	- Αποτελέσματα έρευνας ικανοποίησης (μέση βαθμολογία από 5). - Ποσοστό ενοίκων που αναφέρουν βελτιωμένη ποιότητα ζωής.
Οικονομικά οφέλη	- Εξοικονόμηση κόστους ενέργειας (€ ανά έτος). - Απόδοση επένδυσης (ROI %). - Μείωση του κόστους δημόσιας υγειονομικής περίθαλψης (€).

Βελτιώσεις της συμπεριφοράς	- Ποσοστό ενοίκων που υιοθετούν συμπεριφορές εξοικονόμησης ενέργειας (π.χ. σβήσιμο φώτων). - Αριθμός χειροκίνητων ρυθμίσεων (αλλαγές θερμοστάτη, άνοιγμα παραθύρων).
Ακουστική άνεση	<u>% συμμόρφωσης με τα όρια</u> - Μέση στάθμη θορύβου σε εσωτερικούς χώρους (dB). - Ποσοστό χρόνου που ο θόρυβος παραμένει κάτω από τα συνιστώμενα όρια (<35 dB για γραφεία).
Οπτική άνεση	<u>% των χρονικών ορίων ικανοποιούνται</u> - Διαθεσιμότητα φυσικού φωτός (% των ωρών χρήσης). - Μέση ένταση φωτός.

3.4 Πιστοποιήσεις και Πρωτόκολλα Αξιολόγησης Non-Energy Benefits

Η αναγνώριση και ποσοτικοποίηση των μη ενεργειακών οφελών (NEBs) αποτελεί πρόκληση για την επιστημονική κοινότητα, καθώς τα οφέλη αυτά συνδέονται σε μεγάλο βαθμό με υποκειμενικές εμπειρίες και μη τεχνικές διαστάσεις. Ωστόσο, η αυξανόμενη σημασία τους για την ολιστική αποτίμηση των ενεργειακών παρεμβάσεων έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη και ευρεία υιοθέτηση πιστοποιητικών και πρωτοκόλλων που ενσωματώνουν NEBs στο πλαίσιο αξιολόγησης της συνολικής απόδοσης ενός κτιρίου.

Πρόκειται για εργαλεία που υπερβαίνουν τον περιορισμό στην ενεργειακή κατανάλωση και αξιολογούν παραμέτρους σχετικές με την ευημερία των χρηστών, την ποιότητα του εσωτερικού περιβάλλοντος, την υγεία και ασφάλεια, καθώς και τη μακροχρόνια βιωσιμότητα του κτιρίου. Τα πρωτόκολλα αυτά συνδυάζουν ποσοτικά και ποιοτικά δεδομένα, απαιτώντας είτε άμεσες μετρήσεις (π.χ. θερμοκρασία, φωτισμός, θόρυβος) είτε έμμεσους δείκτες όπως ερωτηματολόγια ικανοποίησης ή επιδόσεις εργαζομένων.

Ο Πίνακας 6 συνοψίζει τα κύρια χαρακτηριστικά των προαναφερθέντων πρωτοκόλλων, όπως τα είδη των δεδομένων που χρησιμοποιούν, τις μονάδες μέτρησης, τους τύπους κτιρίων στους οποίους εφαρμόζονται, τη γεωγραφική κάλυψη, καθώς και τις κατηγορίες NEBs που αξιολογούν ρητά ή έμμεσα.

Πίνακας 6 : Πιστοποιήσεις - Πρωτόκολλα NEBs και χαρακτηριστικά τους

Πρωτόκολλο/Πιστοποίηση	Μετρικές	Έξοδος	Εφαρμόσιμα κτίρια	Χώρες	Προσδιορισμένα μη ενεργειακά οφέλη
WELL Certification	Μετρήσεις σε 10 έννοιες: Αέρας, Νερό, Θρέψη, Φως, Κίνηση, Θερμική Άνεση, Ήχος, Υλικά, Νους, Κοινότητα-Βασισμένες στην	Επίπεδα πιστοποίησης: Χάλκινο (40-49 βαθμοί), Ασημένιο (50-59), Χρυσό (60-79), Πλατινένιο (80+ βαθμοί)	Όλοι οι τύποι κτιρίων, συμπεριλαμβανομένων εμπορικών γραφείων, κατοικιών, εκπαιδευτικών ιδρυμάτων, χώρων φιλοξενίας και λιανικής πώλησης-	Διεθνώς αναγνωρισμένο σε περισσότερες από 130 χώρες	Υγεία και ευεξία (σωματική και ψυχική), ικανοποίηση και παραγωγικότητα των

	απόδοση με επιτόπιες δοκιμές (π.χ., PM2.5, PM10, VOCs, CO2)-έρευνες ενοίκων-συνεχής παρακολούθηση μέσω αισθητήρων		νέων/υφιστάμενων κτιρίων και εσωτερικών χώρων		ενοίκων, ποιότητα εσωτερικού περιβάλλοντος (IAQ), μειωμένη απουσία από την εργασία
Fitwel Certification	Μετρήσεις σε 12 περιοχές: Τοποθεσία, Πρόσβαση Κτιρίου, Εξωτερικοί Χώροι, Είσοδοι/Ισόγειο, Κλιμακοστάσιο, Εσωτερικό Περιβάλλον, Χώροι Εργασίας, Κοινόχρηστοι Χώροι, Παροχή Ύδρευσης, Υπηρεσίες Εστίασης/Καφετέρειες, Αυτόματοι Πωλητές/Σνακ Μπαρ, Διαδικασίες Έκτακτης Ανάγκης- δεν απαιτούνται προαπαιτούμενα	Σύστημα αξιολόγησης με αστέρια: 1 αστέρι (90-104 βαθμοί), 2 αστέρια (105-124 βαθμοί), 3 αστέρια (125-144 βαθμοί)	Εμπορικά γραφεία, κτίρια πολλαπλών μισθώσεων, πολυκατοικίες, χώροι λιανικής πώλησης, πανεπιστημιούπολεις - ισχύει για νέα/υφιστάμενα κτίρια και εσωτερικούς χώρους	Παγκόσμια εφαρμογή σε περισσότερες από 50 χώρες, συμπεριλαμβανομένων των ΗΠΑ, του Ηνωμένου Βασιλείου, της Γερμανίας, της Σαουδικής Αραβίας, των ΗΑΕ	Κοινοτικό αντίκτυπο στην υγεία, μειωμένη νοσηρότητα και απουσία κοινωνική ισότητα, ευημερία των επιβατών, πρόσβαση σε υγιεινές τροφές, ασφάλεια των επιβατών, αυξημένη σωματική άσκηση
LEED O+M	Μετρήσεις βασισμένες στην απόδοση στην ενεργειακή απόδοση, την εξοικονόμηση νερού, την απόδοση των μεταφορών (εκπομπές ρύπων κατά την μετακίνηση), τις βιώσιμες πρακτικές διαχείρισης χώρων/χρήση υλικών/πόρων/δι-αχείριση αποβλήτων/απόδοση ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος	Επίπεδα πιστοποίησης: Πιστοποιημένο (40-49 βαθμοί), Ασημένιο (50-59 βαθμοί), Χρυσό (60-79 βαθμοί), Πλατινένιο (80+ βαθμοί)	Υφιστάμενα ολόκληρα κτίρια και εσωτερικοί χώροι που εξυπηρετούν εμπορικούς/λιανικούς/φιλοξενικούς σκοπούς - λειτουργούν για τουλάχιστον ένα έτος	Διεθνώς αναγνωρισμένο σύστημα πιστοποίησης που αναπτύχθηκε από την USGBC. Χρησιμοποιείται ευρέως παγκοσμίως	Χαρακτηριστικά ανθρώπινης άνεσης και υγείας - κοινωνική ισότητα και συμπερίληψη - περιβαλλοντική βιωσιμότητα
BREEAM Health & Well-being	Οι μετρήσεις περιλαμβάνουν την ποιότητα του εσωτερικού αέρα/την απόδοση των συστημάτων εξαερισμού, τη θερμική άνεση,	Ενσωματωμένο στο συνολικό σύστημα βαθμολόγησης πιστοποίησης BREEAM με αξιολογήσεις από Pass έως	Εφαρμόσιμο σε όλους τους τύπους κτιρίων, συμπεριλαμβανομένων εμπορικών γραφείων/ιδρυμάτων/κατοικιών παγκοσμίως. Χρησιμοποιείται	Διεθνώς εφαρμόσιμο με ισχυρή παρουσία στην Ευρώπη/Ηνωμένο Βασίλειο	Υγεία και ευεξία των ενοίκων, θερμική άνεση, ποιότητα εσωτερικού αέρα,

	την ακουστική άνεση/μείωση θορύβου, την οπτική άνεση και την ποιότητα φωτισμού, καθώς και τα μέτρα ασφάλειας των ενοίκων	Outstanding. Η Υγεία και η Ευεξία είναι μία κατηγορία στο πλαίσιο της ευρύτερης διαδικασίας πιστοποίησης BREEAM	ευρέως στο Ηνωμένο Βασίλειο/Ευρώπη, αλλά είναι επίσης διεθνώς αναγνωρισμένο		ποιότητα φωτισμού
RESET Air Certification	Συνεχής παρακολούθηση των παραμέτρων ποιότητας του εσωτερικού αέρα, συμπεριλαμβανομένων των επιπέδων PM2.5/PM10/VOCs /CO2, μέσω συνεχούς παρακολούθησης με βάση αισθητήρες. Απαιτούνται δεδομένα σε πραγματικό χρόνο για την πιστοποίηση. Πρότυπο βασισμένο στην απόδοση	Πιστοποίηση που βασίζεται σε παρακολούθηση ή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο των παραμέτρων ποιότητας του εσωτερικού αέρα. Δεν απονέμονται σήματα ή αστέρια, αλλά παρέχεται πιστοποιημένη κατάσταση με την συνεχή τήρηση των ορίων	Εμπορικοί χώροι γραφείων κυρίως, αλλά εφαρμόζονται και σε άλλα εσωτερικά περιβάλλοντα παγκοσμίως. Ισχυρή παρουσία διεθνώς, ιδίως στην Ασία/Βόρεια Αμερική	Διεθνώς αναγνωρισμένο σύστημα πιστοποίησης που χρησιμοποιείται παγκοσμίως. Ισχυρή υιοθέτηση στις περιοχές Ασίας/Βόρειας Αμερικής	Βελτίωση της ποιότητας του αέρα εσωτερικών χώρων και οφέλη για την αναπνευστική υγεία των ενοίκων, κυρίως
Occupational Safety and Health Administration (OSHA) Compliance	Μετρήσεις συμμόρφωσης με τα πρότυπα ασφαλείας σχετικά με τις πρακτικές πρόληψης και διαχείρισης κινδύνων στον χώρο εργασίας για τη διασφάλιση ασφαλών συνθηκών εργασίας. Τακτικές επιθεωρήσεις/έλεγχοι συμμόρφωσης με τους κανονισμούς. Δεν υπάρχουν επίσημες βαθμολογίες ή σήματα, αλλά η συμμόρφωση είναι υποχρεωτική από το νόμο/κανονισμούς	Επιτεύχθηκε κατάσταση συμμόρφωσης ή εντοπίστηκαν παραβάσεις—δεν απονεμήθηκαν ρητά σήματα ή αξιολογήσεις από την ίδια την OSHA, αλλά η συμμόρφωση είναι υποχρεωτική από το νόμο στις ΗΠΑ	Όλοι οι χώροι εργασίας/κτίρια/εργοδότες στις Ηνωμένες Πολιτείες υπό τη δικαιοδοσία της OSHA πρέπει να συμμορφώνονται με τα πρότυπα/κανονισμούς της OSHA βάσει νόμου	Ειδικό κανονιστικό πλαίσιο για τις Ηνωμένες Πολιτείες, υποχρεωτικό σε εθνικό επίπεδο για εργοδότες/κτίρια/χώρους εργασίας που υπάγονται μόνο στη δικαιοδοσία της OSHA	Παροχές ασφαλείας στην εργασία και πρόληψη τραυματισμών, κυρίως για τους ενοίκους/εργαζομένους/εργαζομένους του κτιρίου
ADA Compliance	Πρότυπα προσβασιμότητας που αφορούν τα κριτήρια σχεδιασμού και	Δεν απαιτούνται επίσημα σήματα ή βαθμολογίες. Η	Δημόσιοι χώροι διαμονής, εμπορικές εγκαταστάσεις, κρατικές/τοπικές κυβερνητικές	Μόνο για τις Ηνωμένες Πολιτείες	Ένταξη και ισότητα, βελτιωμένη αξιοπρέπεια και

	κατασκευής για προσβάσιμες διαδρομές, εισόδους, ράμπες, τουαλέτες, σήμανση, μονοπάτια κυκλοφορίας, ανελκυστήρες, χώρους στάθμευσης και άλλα δομικά στοιχεία για την εξασφάλιση πρόσβασης χωρίς εμπόδια. Περιλαμβάνει KPI όπως αυτοματοποιημένα δεδομένα παρακολούθησης προσβασιμότητας και παρακολούθηση εμποδίων προσβασιμότητας	συμμόρφωση είναι υποχρεωτική από τη νομοθεσία των ΗΠΑ. Τα κτίρια είτε επιτυγχάνουν καθεστώς συμμόρφωσης είτε αντιμετωπίζουν νομικές κυρώσεις για μη συμμόρφωση	εγκαταστάσεις (όλα τα εμπορικά/δημόσια κτίρια ανοιχτά στο κοινό)		ανεξαρτησία των ενοίκων, μειωμένο στίγμα και αμηχανία, αυξημένη κοινωνική ανάπτυξη, βελτιωμένα οφέλη για την υγεία, αυξημένες επιχειρηματικές ευκαιρίες, μειωμένο διοικητικό κόστος λόγω εναρμονισμένων κατευθυντήριων γραμμών, αυξημένη αξία κτιρίου και συμμετοχή της κοινότητας
ISO 21542:2011 - Building Accessibility	Οι μετρήσεις περιλαμβάνουν απαιτήσεις για προσβάσιμες προσεγγίσεις, εισόδους/εξόδους, εσωτερικές διαδρομές κυκλοφορίας, διαδρομές εκκένωσης έκτακτης ανάγκης, σήμανση/οδήγηση, εγκαταστάσεις υγιεινής, ράμπες/σκάλες/ανελκυστήρες/ανελκυστήρες, συνθήκες φωτισμού, απτικές ενδείξεις/χαρακτηριστικά Braille. Εστιάζει στη δυνατότητα ανεξάρτητης και αξιοπρεπούς χρήσης του δομημένου περιβάλλοντος από διαφορετικούς χρήστες, ανεξάρτητα από τις ποικίλες ικανότητές τους	Δεν απονέμονται σήματα ή βαθμολογίες. Παρέχονται τυποποιημένες διεθνείς οδηγίες για την προσβασιμότητα. Η συμμόρφωση καταδεικνύει την τήρηση των διεθνών βέλτιστων πρακτικών, αλλά δεν απονέμει σαφείς αξιολογήσεις ή πιστοποιήσεις	Ισχύει για όλους τους τύπους κτιρίων παγκοσμίως (εμπορικά, θεσμικά κτίρια), εξαιρουμένων των μονοκατοικιών, εκτός από τους κοινόχρηστους χώρους που μοιράζονται πολλαπλές κατοικίες	Διεθνώς εφαρμόσιμο πρότυπο που αναγνωρίζεται παγκοσμίως - εφαρμόζεται από εθνικούς φορείς με πιθανές τοπικές προσαρμογές	Οφέλη προσβασιμότητας και χρηστικότητας για άτομα με αναπηρίες, ανεξάρτητη και ασφαλής πρόσβαση/έξοδος, ενισχυμένη αξιοπρέπεια και ανεξαρτησία, μειωμένο στίγμα και απομόνωση των ατόμων με αναπηρία, βελτιωμένη κοινωνική ένταξη και δίκαιη χρήση του δομημένου περιβάλλοντος

BREEAM Accessibility & Inclusive Design	Οι μετρήσεις περιλαμβάνουν υπολογισμούς δεικτών προσβασιμότητας (π.χ. προσβασιμότητα στις δημόσιες συγκοινωνίες), χαρακτηριστικά σχεδιασμού χωρίς αποκλεισμούς (ράμπες, οπτική διαφοροποίηση μέσω χρωματικών σχημάτων), ευέλικτες διατάξεις επίπλων που εξυπηρετούν τις ποικίλες ανάγκες των χρηστών, διαβούλευση με τα ενδιαφερόμενα μέρη και συμμετοχή στις διαδικασίες σχεδιασμού	Ενσωματωμένο στο συνολικό σύστημα βαθμολόγησης πιστοποίησης BREEAM με αξιολογήσεις από Pass έως Excellent.	Όλοι οι τύποι κτιρίων, συμπεριλαμβανομένων εμπορικών γραφείων, θεσμικών κτιρίων, κατοικιών παγκοσμίως - Ισχύει για νέα κατασκευαστικά έργα καθώς και για υπάρχοντα κτίρια που βρίσκονται υπό ανακαίνιση ή λειτουργικές αξιολογήσεις	Διεθνώς αναγνωρισμένο σύστημα πιστοποίησης που χρησιμοποιείται ευρέως παγκοσμίως σε περισσότερες από 87 χώρες με ισχυρή παρουσία στην Ευρώπη/Ηνωμένο Βασίλειο	Οφέλη κοινωνικής ισότητας/ένταξης/προσβασιμότητας που διασφαλίζουν δίκαιη πρόσβαση/χρήση για ποικίλους πληθυσμούς ανεξαρτήτως ηλικίας/αναπηρίας/φύλου κ.λπ. - Βελτιωμένη αξιοπρέπεια/εφημερία/κοινωνική ένταξη των ενοίκων - θετικές κοινωνικές επιπτώσεις στις τοπικές κοινότητες μέσω περιβαλλόντων χωρίς αποκλεισμούς και αρχών καθολικού σχεδιασμού
RHFAC	Μετρήσεις προσβασιμότητας σε 12 τομείς: πρόσβαση οχημάτων, εξωτερική προσέγγιση, εσωτερική κυκλοφορία, εσωτερικές υπηρεσίες/περιβάλλον, εγκαταστάσεις υγιεινής, οδική σήμανση, συστήματα έκτακτης ανάγκης, οικιστικές μονάδες, μονοπάτια/μονοπάτια, περιβάλλοντα φιλικά προς το μυαλό, τεχνολογία/καινοτομία	Επίπεδα πιστοποίησης: "RHFAC Certified" (βαθμολογία $\geq 60\%$), "RHFAC Gold" ($\geq 80\%$) - παρέχει εργαλεία πιστοποίησης και συγκριτικής αξιολόγησης για την προσβασιμότητα	Όλοι οι τύποι κτιρίων, συμπεριλαμβανομένων εμπορικών και οικιστικών κτιρίων, υφιστάμενων και προκατασκευασμένων έργων	Κυρίως στον Καναδά - ισοδύναμα πρότυπα μπορούν να χρησιμοποιηθούν διεθνώς	Ένταξη και ισότητα, βελτιωμένη αξιοπρέπεια/ανεξαρτησία των ενοίκων, ενισχυμένη συμμετοχή της κοινότητας, βελτιωμένη υγεία και ευεξία, υποστήριξη των στόχων ESG
European Accessibility Act (EAA)	Οι μετρήσεις περιλαμβάνουν λειτουργικές απαιτήσεις	Υποχρεωτική συμμόρφωση (χωρίς διακριτικά ή	Προϊόντα/υπηρεσίες, συμπεριλαμβανομένων ηλεκτρονικών επικοινωνιών,	Υποχρεωτική ή συμμόρφωση των	Βελτιωμένη χρηστικότητα/προσβασιμότητα για άτομα

Compliance	προσβασιμότητας ευθυγραμμισμένες με τα κριτήρια EN 301 549 και WCAG 2.1 Επιπέδου AA - συμβατότητα με υποστηρικτικές τεχνολογίες (αναγνώστες οθόνης) - προσβάσιμο ψηφιακό περιεχόμενο - προσβάσιμα ΑΤΜ/τερματικά αυτοεξυπηρέτησης - προσβάσιμο ηλεκτρονικό εμπόριο και ψηφιακές υπηρεσίες	αξιολογήσεις)· διαδικασία αξιολόγησης της συμμόρφωσης, συμπεριλαμβανομένων ελέγχων/δοκιμών/τεκμηρίωσης/δήλωσης συμμόρφωσης ΕΕ για προϊόντα/υπηρεσίες	οπτικοακουστικών μέσων, τραπεζικών υπηρεσιών, πλατφορμών/εφαρμογών/τερματικών αυτοεξυπηρέτησης ηλεκτρονικού εμπορίου σε όλα τα κράτη μέλη της ΕΕ	κρατών μελών της Ευρωπαϊκής Ένωσης έως το 2025	με αναπηρίες, αυξημένη κοινωνική ένταξη/ισότητα, ενισχυμένη ανεξαρτησία/αξιοπρέπεια των χρηστών
CASP Certification	Επιθεώρηση κτιρίων/χώρων για συμμόρφωση με τα κρατικά/ομοσπονδιακά πρότυπα προσβασιμότητας που σχετίζονται με τις κατασκευές - αναθεώρηση σχεδίων/προδιαγραφών εγκαταστάσεων - παροχή εκθέσεων επιθεώρησης προσβασιμότητας και Πιστοποιητικών Επιθεώρησης Πρόσβασης για ΑμεΑ	Πιστοποιητικό Επιθεώρησης Πρόσβασης ΑμεΑ & Έκθεση Επιθεώρησης CASp που εκδίδεται μετά την επιθεώρηση (χωρίς αξιολογήσεις ή σήματα). Παρέχει καθεστώς "κατάλληλου εναγομένου" σε αγωγές προσβασιμότητας στην Καλιφόρνια	Εμπορικά/δημόσια καταλύματα στην Καλιφόρνια (υφιστάμενα/νέα/ανακαινισμένα κτίρια). Προαιρετικό αλλά συνιστάται για τη μείωση της νομικής ευθύνης	Πρόγραμμα πιστοποίησης ειδικά για την Καλιφόρνια, ΗΠΑ	Βελτιωμένη προσβασιμότητα/ένταξη - μειωμένος κίνδυνος νομικής ευθύνης που σχετίζεται με αγωγές προσβασιμότητας
BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method)	Μετρήσεις που αξιολογούν τη βιωσιμότητα σε όλους τους τομείς: χρήση ενέργειας, χρήση νερού, υγεία και ευεξία, έλεγχος της ρύπανσης, πρόσβαση στις μεταφορές, διαχείριση υλικών/αποβλήτων/οικολογία/καινοτομία. Απαιτείται αξιολόγηση από ανεξάρτητο αδειοδοτημένο αξιολογητή	Επίπεδα πιστοποίησης: Επιτυχία, Καλό, Πολύ Καλό, Άριστα, Άριστα (βάσει των βαθμών που έχουν κερδηθεί). Η ισχύς ποικίλλει ανάλογα με τον τύπο (διάρκεια ισχύος νέας κατασκευής - ανανεώσιμη ισχύς υφιστάμενων κτιρίων 3 έτη).	Όλοι οι τύποι κτιρίων παγκοσμίως: νέες κατασκευές/ανακαινισσεις/κτίρια σε χρήση/κατοικίες/μη οικιστικά/έργα υποδομής	Παγκόσμια εφαρμογή με ισχυρή παρουσία στο Ηνωμένο Βασίλειο και την Ευρώπη	Βελτιωμένη υγεία/ευημερία των ενοίκων, μειωμένες περιβαλλοντικές επιπτώσεις/ρύπανση, ενισχυμένη βιοποικιλότητα/προστασία οικοσυστήματος, βιώσιμη διαχείριση υλικών

LEED (Leadership in Energy and Environmental Design)	Οι μετρήσεις περιλαμβάνουν την ενεργειακή απόδοση/απόδοση νερού, την ποιότητα του εσωτερικού περιβάλλοντος, βιώσιμες εγκαταστάσεις/υλικά/διαχείριση αποβλήτων/μεταφορά/μείωση εκπομπών άνθρακα - Σύστημα βασισμένο σε πόντους μέσω προαπαιτούμενων /πιστωτικών μονάδων που επαληθεύονται από τη διαδικασία αξιολόγησης GBCI - Βασίζεται κυρίως σε προβλέψεις μοντελοποίησης ενέργειας και όχι σε δεδομένα μετρούμενης απόδοσης	Επίπεδα πιστοποίησης: Πιστοποιημένο (40-49 βαθμοί), Ασημένιο (50-59), Χρυσό (60-79), Πλατινένιο (80+ βαθμοί). Η πιστοποίηση είναι παγκοσμίως αναγνωρισμένο σύμβολο επίτευξης βιωσιμότητας	Ισχύει παγκοσμίως για όλους τους τύπους κτιρίων: εμπορικά γραφεία/ιδρύματα/πολυκατοικίες/φιλοξενία/λιανικά καταστήματα/ κέντρα δεδομένων/ σχολεία/αναπτύξεις γειτονιάς/νέα/υφιστάμενα κτίρια/εσωτερικοί χώροι/ανακαινίσεις, παγκοσμίως αναγνωρισμένο σύστημα που αναπτύχθηκε από την USGBC	Χρησιμοποιείται ευρέως διεθνώς σε περισσότερες από 186 χώρες	Βελτιωμένη υγεία/ευεξία/ παραγωγικότητα των ενοίκων - βελτιωμένη ποιότητα ζωής στην κοινότητα/κοινωνική ισότητα/ανθεκτικότητα/περιβαλλοντική βιωσιμότητα/μειωμένη ρύπανση και εκπομπές/προστασία της βιοποικιλότητας
DGNB (Deutscher Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen - Germany)	Ολιστική αξιολόγηση σε 6 κατηγορίες: Οικολογία, Οικονομία, Κοινωνικοπολιτισμική και Λειτουργική Ποιότητα, Τεχνική Ποιότητα, Ποιότητα Διαδικασιών, Ποιότητα Χώρου Εργοταξίου - Οι μετρήσεις περιλαμβάνουν την αξιολόγηση κύκλου ζωής (LCA), την ποιότητα εσωτερικού περιβάλλοντος (IEQ), την άνεση και την υγεία των ενοίκων, την οικονομική ανάλυση κόστους κύκλου ζωής, την ανθεκτικότητα, την	Επίπεδα πιστοποίησης: Χάλκινο (≥50%), Ασημένιο (≥65%), Χρυσό (≥65%), Πλατινένιο (≥80%) - Επιπλέον «μπόνους της Ατζέντας 2030» απονέμεται για έργα που συμβάλλουν σημαντικά στους Στόχους Βιώσιμης Ανάπτυξης (ΣΒΑ) των Ηνωμένων Εθνών	Όλοι οι τύποι κτιρίων, συμπεριλαμβανομένων εμπορικών, οικιστικών, θεσμικών κτιρίων, συνοικιών/γειτονιών, νέων και υφιστάμενων κτιρίων	Προέρχεται από τη Γερμανία, είναι διεθνώς αναγνωρισμένο και εφαρμόζεται παγκοσμίως	Βελτιωμένη υγεία και ευεξία των ενοίκων - βελτιωμένη ποιότητα εσωτερικού περιβάλλοντος - μειωμένο κόστος κύκλου ζωής - αυξημένη αξία περιουσιακών στοιχείων - κοινωνική ισότητα και οφέλη για την κοινότητα - συμβολή στους παγκόσμιους στόχους βιωσιμότητας

	προσαρμοστικότητα, τις υπεύθυνες πρακτικές προμηθειών και κατασκευής				
HQE (Haute Qualité Environnementale - France)	Μετρήσεις σε πολλαπλές κατηγορίες, όπως Περιβαλλοντική & Ενεργειακή Απόδοση, Υγεία & Άνεση, Πρακτικές Διαχείρισης Έργων, Βιώσιμη Διαχείριση Υλικών & Αποβλήτων, Απόδοση Υδάτων, Διαχείριση Εργοταξίου - Δίνει έμφαση στην ευέλικτη προσέγγιση που λαμβάνει υπόψη το τοπικό πλαίσιο αντί για άκαμπτα όρια	Επίπεδα πιστοποίησης: HQE Performant (entry-level), HQE Très Performant (υψηλές επιδόσεις), HQE Excellent (προχωρημένο), HQE Exceptionnel (υψηλότερο επίπεδο)	Εμπορικά και οικιστικά κτίρια, νέες κατασκευές και έργα ανακαίνισης	Προέρχεται από τη Γαλλία· χρησιμοποιείται ευρέως στη Γαλλία και έχει διεθνώς προσαρμοσμένες εκδόσεις στην Ισπανία (VERDE), το Μαρόκο (ADAM), τον Καναδά, την Κίνα	Υγεία και άνεση των ενοίκων, βελτιωμένη ποιότητα εσωτερικού περιβάλλοντος, αυξημένη ικανοποίηση/παραγωγικότητα των ενοίκων, μειωμένες περιβαλλοντικές επιπτώσεις, κοινωνικά/κοινωνικά οφέλη μέσω της συμμετοχής των τοπικών ενδιαφερόμενων μερών
Green Star (Australia & South Africa)	Μετρήσεις σε πολλαπλές κατηγορίες βιωσιμότητας: Ενεργειακή απόδοση, αποδοτικότητα νερού, ποιότητα εσωτερικού περιβάλλοντος (IEQ), πρόσβαση/συνδεσιμότητα μεταφορών, επιλογή υλικών/διαχείριση αποβλήτων/οικολογία/βιοποικιλότητα/διαχείριση βιώσιμων χώρων/καινοτομία - Πρέπει να πληρούνται οι ελάχιστες προσδοκίες για την επιλεξιμότητα πιστοποίησης - Υπάρχουν προσαρμοσμένες περιφερειακές προσαρμογές	Βαθμολογίες πιστοποίησης: Αυστραλία—4 Αστέρια («Βέλτιστη Πρακτική»), 5 Αστέρια («Αυστραλιανή Αριστεία»), 6 Αστέρια («Παγκόσμια Ηγεσία») - Η Νότια Αφρική χρησιμοποιεί παρόμοιες βαθμολογίες με αστέρια	Όλοι οι τύποι κτιρίων, συμπεριλαμβανομένων εμπορικών γραφείων/ιδρυμάτων/πολυκατοικιών/φιλοξενίας/εμπορικών καταστημάτων/γειτονιών/νέων κατασκευών/υφιστάμενων κτιρίων/εσωτερικών χώρων/ανακαινίσεων	Κυρίως στην Αυστραλία και τη Νότια Αφρική, αλλά και διεθνώς αναγνωρισμένο/προσαρμοσμένο παγκοσμίως	Βελτιωμένη υγεία/ευεξία/παραγωγικότητα των ενοίκων, μειωμένες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου/περιβαλλοντική ή ρύπανση, βελτιωμένη ποιότητα εσωτερικού περιβάλλοντος, μειωμένο λειτουργικό κόστος, βελτιωμένη εμπορευσιμότητα/αξία κτιρίου/κοινωνική ισότητα/ανθεκτικότητα της κοινότητας/προστασία της βιοποικιλότητας

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Σχεδιασμός Μεθοδολογίας

4 Σχεδιασμός Μεθοδολογίας

Η αξιολόγηση των παρεμβάσεων ενεργειακής ανακαίνισης στα κτίρια απαιτεί μια ολοκληρωμένη προσέγγιση που να λαμβάνει υπόψη όχι μόνο τα άμεσα ενεργειακά οφέλη, αλλά και τα μη ενεργειακά οφέλη (non-energy benefits), τα οποία συχνά επηρεάζουν καθοριστικά τη συνολική αξία και αποδοτικότητα της επένδυσης. Το παρόν κεφάλαιο παρουσιάζει το σχεδιασμό και τη μεθοδολογική προσέγγιση που ακολουθήθηκε για την ιεράρχηση και αξιολόγηση των μη ενεργειακών οφελών μέσω πολυκριτήριας ανάλυσης. Αρχικά, γίνεται αναγνώριση και κατηγοριοποίηση των σχετικών κριτηρίων, ενώ στη συνέχεια παρουσιάζονται οι βασικές θεωρητικές αρχές και τα εργαλεία πολυκριτήριας ανάλυσης που επιλέχθηκαν για την παρούσα εργασία. Τέλος, τεκμηριώνεται η επιλογή των συγκεκριμένων μεθόδων και παρουσιάζονται ενδεικτικές εφαρμογές τους στη διεθνή βιβλιογραφία.

4.1 Αναγνώριση και Κατηγοριοποίηση των Non-Energy Benefits

Η αξιολόγηση των μη ενεργειακών οφελών (Non-Energy Benefits, NEBs) αποτελεί ουσιώδες βήμα για την ολιστική αποτίμηση των παρεμβάσεων ενεργειακής ανακαίνισης κτιρίων. Τα NEBs περιλαμβάνουν πλήθος παραμέτρων που σχετίζονται με τη βελτίωση της ποιότητας ζωής, της υγείας, της παραγωγικότητας και της κοινωνικής ευημερίας των χρηστών, πέραν της εξοικονόμησης ενέργειας και του άμεσου οικονομικού οφέλους.

4.1.1 Ορισμός και Σημασία των Non-Energy Benefits

Τα μη ενεργειακά οφέλη αναφέρονται σε βελτιώσεις που απορρέουν από την αναβάθμιση του κτιρίου και δεν σχετίζονται άμεσα με τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας. Η αναγνώρισή τους είναι κρίσιμη, καθώς επηρεάζουν τη συνολική αποδοχή και βιωσιμότητα των παρεμβάσεων, ενώ συχνά συνδέονται με σημαντικά κοινωνικά, υγειονομικά και οικονομικά αποτελέσματα.

4.1.2 Κατηγοριοποίηση των Non-Energy Benefits

Για την παρούσα εργασία, τα κύρια μη ενεργειακά οφέλη που επιλέχθηκαν ως κριτήρια αξιολόγησης είναι τα εξής:

- **Indoor Air Quality (IAQ):** Η ποιότητα του εσωτερικού αέρα αφορά τη συγκέντρωση ρύπων, σωματιδίων και διοξειδίου του άνθρακα στον εσωτερικό χώρο. Η βελτίωση της IAQ συνδέεται άμεσα με τη μείωση συμπτωμάτων του συνδρόμου του άρρωστου κτιρίου, τη μείωση απουσιών λόγω ασθένειας και τη γενικότερη βελτίωση της υγείας και της ευεξίας των χρηστών.
- **Thermal Comfort:** Η θερμική άνεση αναφέρεται στην αίσθηση ικανοποίησης των χρηστών ως προς τη θερμοκρασία, την υγρασία, την ταχύτητα του αέρα και τη θερμική ακτινοβολία στον χώρο. Η διατήρηση κατάλληλων θερμικών συνθηκών συμβάλλει στη μείωση του θερμικού στρες, στην πρόληψη ασθενειών και στην αύξηση της παραγωγικότητας.
- **Health Benefits:** Τα οφέλη για την υγεία περιλαμβάνουν τη μείωση αναπνευστικών προβλημάτων, αλλεργιών και λοιμώξεων, καθώς και τη γενικότερη βελτίωση της φυσικής και ψυχικής υγείας των ενοίκων, ως αποτέλεσμα καλύτερης ποιότητας αέρα, θερμικής άνεσης και φωτισμού.
- **Productivity Gains:** Η βελτίωση των περιβαλλοντικών συνθηκών (θερμική άνεση, ποιότητα αέρα, φωτισμός) έχει αποδειχθεί ότι αυξάνει την απόδοση και τη συγκέντρωση των χρηστών, μειώνει τα λάθη και τις απουσίες, και ενισχύει τη συνολική παραγωγικότητα, ειδικά σε εργασιακούς χώρους.
- **Social Benefits:** Τα κοινωνικά οφέλη περιλαμβάνουν τη βελτίωση της κοινωνικής συνοχής, την αύξηση της ικανοποίησης των ενοίκων και τη μείωση φαινομένων κοινωνικού αποκλεισμού, ιδιαίτερα σε ευάλωτες ομάδες πληθυσμού.
- **Economic Benefits:** Τα οικονομικά οφέλη αφορούν τη μείωση του κόστους συντήρησης και λειτουργίας, την αύξηση της αξίας του ακινήτου και τη βελτίωση της ελκυστικότητας για ενοικίαση ή πώληση.
- **Behavioral Improvement:** Οι βελτιώσεις στη συμπεριφορά των χρηστών σχετίζονται με την ενίσχυση της περιβαλλοντικής συνείδησης, τη μεγαλύτερη υιοθέτηση πρακτικών εξοικονόμησης ενέργειας και τη βελτίωση των συνηθειών που σχετίζονται με την υγεία και την ευημερία.
- **Acoustic Comfort:** Η ακουστική άνεση αναφέρεται στον περιορισμό του θορύβου και στη διατήρηση κατάλληλων συνθηκών για συγκέντρωση και ξεκούραση. Η βελτίωση της

ακουστικής συμβάλλει στη μείωση του στρες και στην αύξηση της ικανοποίησης των χρηστών.

- **Visual Comfort:** Η οπτική άνεση περιλαμβάνει τη σωστή κατανομή και ένταση φυσικού και τεχνητού φωτισμού, που ενισχύει την ευεξία, την παραγωγικότητα και την ασφάλεια των χρηστών.

4.1.3 Επιλογή Κριτηρίων και Υποκριτηρίων

Η επιλογή των παραπάνω κριτηρίων βασίστηκε σε ανάλυση της διεθνούς βιβλιογραφίας και των σύγχρονων προτύπων για την ενεργειακή ανακαίνιση κτιρίων. Κάθε κύριο κριτήριο μπορεί να αναλυθεί περαιτέρω σε υποκριτήρια, ανάλογα με τις απαιτήσεις της έρευνας και τα διαθέσιμα δεδομένα. Η συστηματική αξιολόγηση των NEBs μέσω πολυκριτήριας ανάλυσης επιτρέπει την ιεράρχησή τους και τη βέλτιστη ενσωμάτωσή τους στον σχεδιασμό και την υλοποίηση ενεργειακών παρεμβάσεων.

4.2 Πολυκριτήρια Ανάλυση: Θεωρητικό Υπόβαθρο

Η πολυκριτήρια ανάλυση (Multi-Criteria Decision Analysis - MCDA) αποτελεί ένα σύνολο μεθοδολογιών που χρησιμοποιούνται για τη λήψη αποφάσεων όταν εμπλέκονται πολλαπλά, συχνά αντικρουόμενα, κριτήρια. Η ανάγκη για πολυκριτήρια ανάλυση προκύπτει σε περιπτώσεις όπου η αξιολόγηση των εναλλακτικών λύσεων δεν μπορεί να βασιστεί αποκλειστικά σε ένα μεμονωμένο κριτήριο, όπως το κόστος ή η ενεργειακή απόδοση, αλλά απαιτεί τη συνεκτίμηση ενός ευρύτερου φάσματος παραγόντων, όπως τα μη ενεργειακά οφέλη, οι περιβαλλοντικές και κοινωνικές επιπτώσεις, η ευκολία υλοποίησης κ.ά.

4.2.1 Ορισμός και Σκοπός της Πολυκριτήριας Ανάλυσης

Η πολυκριτήρια ανάλυση ορίζεται ως η διαδικασία που επιτρέπει τη συστηματική αξιολόγηση και ιεράρχηση εναλλακτικών επιλογών βάσει ενός συνόλου κριτηρίων, τα οποία μπορεί να είναι ποσοτικά ή ποιοτικά. Ο βασικός σκοπός της MCDA είναι να υποστηρίξει τον λήπτη απόφασης, παρέχοντας μια διαφανή και τεκμηριωμένη διαδικασία που ενσωματώνει τις προτιμήσεις και τις προτεραιότητές του.

4.2.2 Εφαρμογές της Πολυκριτήριας Ανάλυσης

Η MCDA έχει ευρεία εφαρμογή σε διάφορους τομείς, όπως η διαχείριση έργων, ο περιβαλλοντικός σχεδιασμός, η επιλογή τεχνολογιών, η αστική ανάπτυξη και ο ενεργειακός σχεδιασμός. Στον τομέα των κτιρίων, η πολυκριτήρια ανάλυση χρησιμοποιείται για:

- Την αξιολόγηση και ιεράρχηση ενεργειακών και μη ενεργειακών παρεμβάσεων.
- Την επιλογή βέλτιστων υλικών και τεχνολογιών.
- Την εκτίμηση της βιωσιμότητας και της αποδοτικότητας επενδύσεων.
- Την ενσωμάτωση κοινωνικών, περιβαλλοντικών και οικονομικών παραμέτρων στη διαδικασία λήψης αποφάσεων.

4.2.3 Κατηγορίες Μεθόδων Πολυκριτήριας Ανάλυσης

Οι μέθοδοι πολυκριτήριας ανάλυσης διακρίνονται κυρίως στις εξής κατηγορίες:

- **Μέθοδοι βασισμένες στη συνάρτηση χρησιμότητας (Multi-Attribute Utility Theory - MAUT):** Οι μέθοδοι αυτές μετατρέπουν τις επιδόσεις των εναλλακτικών ως προς κάθε κριτήριο σε τιμές χρησιμότητας και υπολογίζουν μια συνολική βαθμολογία για κάθε εναλλακτική.
- **Μέθοδοι σχέσεων υπεροχής (Outranking Methods):** Αξιολογούν τις εναλλακτικές συγκρίνοντάς τις μεταξύ τους ως προς κάθε κριτήριο, χωρίς να απαιτούν τη μετατροπή όλων των κριτηρίων σε κοινή κλίμακα. Ενδεικτικά παραδείγματα αποτελούν οι μέθοδοι ELECTRE και PROMETHEE.
- **Μέθοδοι άμεσης στάθμισης (Direct Weighting Methods):** Οι μέθοδοι αυτές βασίζονται στην άμεση εκτίμηση της σχετικής βαρύτητας των κριτηρίων από τους ενδιαφερόμενους, όπως η κατανομή πόντων (point allocation) ή η μέθοδος καλύτερου-χειρότερου κριτηρίου (Best-Worst Method).
- **Μέθοδοι βασισμένες στην εγγύτητα προς την ιδεατή λύση (e.g. TOPSIS):** Υπολογίζουν την απόσταση κάθε εναλλακτικής από μια ιδεατή (βέλτιστη) και μια αντι-ιδεατή (χειρότερη) λύση, κατατάσσοντας τις εναλλακτικές ανάλογα με την εγγύτητά τους στην ιδεατή.

4.2.4 Πλεονεκτήματα της Πολυκριτήριας Ανάλυσης

Η χρήση της MCDA προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα, όπως:

- Συστηματική και διαφανής αξιολόγηση σύνθετων προβλημάτων.
- Ενσωμάτωση ποσοτικών και ποιοτικών κριτηρίων.
- Δυνατότητα προσαρμογής στις προτιμήσεις των ενδιαφερομένων.
- Υποστήριξη της τεκμηριωμένης λήψης αποφάσεων.

Συνοψίζοντας, η πολυκριτήρια ανάλυση αποτελεί το κατάλληλο εργαλείο για την ολοκληρωμένη αξιολόγηση των μη ενεργειακών οφελών στην ενεργειακή ανακαίνιση κτιρίων, καθώς επιτρέπει την ισότιμη συνεκτίμηση παραγόντων που συχνά παραβλέπονται στις παραδοσιακές μεθόδους αξιολόγησης.

4.3 Επισκόπηση Μεθόδων Πολυκριτήριας Ανάλυσης

Η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου πολυκριτήριας ανάλυσης (MCDA) αποτελεί κρίσιμο στάδιο στη διαδικασία αξιολόγησης και ιεράρχησης σύνθετων προβλημάτων, όπως η αποτίμηση των μη ενεργειακών οφελών (non-energy benefits) σε έργα ενεργειακής ανακαίνισης κτιρίων. Η βιβλιογραφία προσφέρει πλούσιο φάσμα μεθοδολογιών, καθεμία εκ των οποίων παρουσιάζει ιδιαίτερα χαρακτηριστικά, πλεονεκτήματα και περιορισμούς. Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζονται οι βασικές κατηγορίες και ενδεικτικές μέθοδοι MCDA που

μπορούν να εφαρμοστούν σε παρόμοια προβλήματα, συνοδευόμενες από ανάλυση των εισόδων-εξόδων τους, καθώς και των πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων τους.

4.3.1 Περιγραφή Επιλεγμένων Μεθόδων

1. Μέθοδοι Συνάρτησης Χρησιμότητας ή Αξίας (MAUT/MAVT, SAW, SMART)

Οι μέθοδοι αυτές βασίζονται στη μετατροπή των επιδόσεων των εναλλακτικών ως προς κάθε κριτήριο σε τιμές χρησιμότητας ή αξίας. Οι τιμές αυτές συντίθενται με βάση τα βάρη των κριτηρίων για να προκύψει μια συνολική βαθμολογία για κάθε εναλλακτική. Η μέθοδος Simple Additive Weighting (SAW) αποτελεί μια απλοποιημένη εκδοχή, ενώ η SMART (Simple Multi-Attribute Rating Technique) προσφέρει μεγαλύτερη ευελιξία στην εκτίμηση βαρών.

2. Μέθοδοι Σχέσεων Υπεροχής (ELECTRE, PROMETHEE)

Οι μέθοδοι αυτές συγκρίνουν τις εναλλακτικές ανά ζεύγη ως προς κάθε κριτήριο, εντοπίζοντας σχέσεις υπεροχής και προτιμήσεων. Η ELECTRE χρησιμοποιεί κατώφλια και veto για την ενίσχυση της ρεαλιστικότητας, ενώ η PROMETHEE βασίζεται σε συναρτήσεις προτίμησης και προσφέρει γραφικές απεικονίσεις των αποτελεσμάτων.

3. Μέθοδοι Άμεσης Στάθμισης (Direct Weighting, Point Allocation, Swing, SMART)

Σε αυτές τις μεθόδους, οι λήπτες αποφάσεων εκτιμούν απευθείας τα βάρη των κριτηρίων, είτε μέσω κατανομής πόντων (Point Allocation), είτε μέσω αξιολόγησης σε κλίμακα (Direct Weighting), είτε βάσει της σχετικής σημασίας κάθε κριτηρίου (Swing).

4. Μέθοδοι Αντικειμενικής Στάθμισης (Shannon Entropy, CRITIC)

Οι μέθοδοι αυτές υπολογίζουν τα βάρη των κριτηρίων με βάση τα στατιστικά χαρακτηριστικά των δεδομένων, όπως η διασπορά και η πληροφορία που παρέχεται από κάθε κριτήριο, χωρίς την υποκειμενική παρέμβαση των ληπτών αποφάσεων.

5. Μέθοδοι Εγγύτητας στην Ιδεατή Λύση (TOPSIS, VIKOR, EDAS)

Οι μέθοδοι αυτές υπολογίζουν την απόσταση κάθε εναλλακτικής από μια ιδεατή (βέλτιστη) και μια αντι-ιδεατή (χειρότερη) λύση, κατατάσσοντας τις εναλλακτικές με βάση την εγγύητά τους στην ιδεατή.

6. Μέθοδοι Δικτύου και Αλληλεξάρτησης (ANP)

Η μέθοδος Analytic Network Process (ANP) επεκτείνει το AHP, επιτρέποντας αλληλεξαρτήσεις μεταξύ κριτηρίων και εναλλακτικών, προσφέροντας μεγαλύτερη ευελιξία σε πολύπλοκα συστήματα.

7. Υβριδικές και Νεότερες Μέθοδοι (AHP-Entropy, FUCOM, SWARA, OPA, LMAW)

Οι μέθοδοι αυτές συνδυάζουν υποκειμενικές και αντικειμενικές τεχνικές στάθμισης ή εισάγουν νέες λογικές για τη διασφάλιση συνέπειας, διαφάνειας και ευελιξίας.

Πίνακας 7 : Είσοδοι - έξοδοι μεθόδων πολυκριτήριας ανάλυσης

Μέθοδος	Είσοδοι (Inputs)	Έξοδοι (Outputs)
Μέθοδοι Συνάρτησης Χρησιμότητας ή Αξίας	Ορισμός κριτηρίων και υποκριτηρίων αξιολόγησης Συγκριτικές αξιολογήσεις ή βαθμολογίες εναλλακτικών ως προς τα κριτήρια (ποσοτικές ή ποιοτικές) Εκτίμηση βαρών κριτηρίων (υποκειμενικά ή αντικειμενικά)	Συνολική βαθμολογία ή δείκτης απόδοσης για κάθε εναλλακτική Βάρη κριτηρίων
Μέθοδοι Σχέσεων Υπεροχής	Ορισμός κριτηρίων και υποκριτηρίων αξιολόγησης Πίνακες σύγκρισης ανά ζεύγη Κατώφλια και veto (ELECTRE) Συναρτήσεις προτίμησης (PROMETHEE)	Σχέσεις υπεροχής ή προτιμήσεων μεταξύ εναλλακτικών Κατάταξη εναλλακτικών
Μέθοδοι Άμεσης Στάθμισης	Ορισμός κριτηρίων και υποκριτηρίων αξιολόγησης Άμεση εκτίμηση βαρών από λήπτες αποφάσεων μέσω κατανομής πόντων ή κλίμακας	Βάρη κριτηρίων Κατάταξη εναλλακτικών
Μέθοδοι Αντικειμενικής Στάθμισης	Δεδομένα αξιολόγησης εναλλακτικών Στατιστικά χαρακτηριστικά δεδομένων (διασπορά, πληροφορία, συσχέτιση)	Βάρη κριτηρίων

Μέθοδοι Εγγύτητας στην Ιδεατή Λύση	Ορισμός κριτηρίων και υποκριτηρίων αξιολόγησης Πίνακας επιδόσεων εναλλακτικών Βάρη κριτηρίων	Κατάταξη εναλλακτικών βάσει εγγύτητας στην ιδεατή λύση
Μέθοδοι Δικτύου και Αλληλεξάρτησης	Ορισμός κριτηρίων και υποκριτηρίων αξιολόγησης Πίνακες αλληλεξαρτήσεων μεταξύ κριτηρίων και εναλλακτικών	Βάρη κριτηρίων Κατάταξη εναλλακτικών
Υβριδικές και Νεότερες Μέθοδοι	Συνδυασμός υποκειμενικών και αντικειμενικών δεδομένων Εκτίμηση βαρών με νέες μεθόδους	Βάρη κριτηρίων Κατάταξη εναλλακτικών

Πίνακας 8 : Πλεονεκτήματα - μειονεκτήματα μεθόδων πολυκριτήριας ανάλυσης

Μέθοδος	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Μέθοδοι Συνάρτησης Χρησιμότητας ή Αξίας	Απλή εφαρμογή, διαφάνεια, κατάλληλες για ποσοτικά δεδομένα.	Απαιτούν κανονικοποίηση, πλήρη αντιστάθμιση μεταξύ κριτηρίων, ευαισθησία στην επιλογή βαρών.
Μέθοδοι Σχέσεων Υπεροχής	Διαχειρίζονται αβεβαιότητα και μη αντισταθμιστικά κριτήρια, κατάλληλες για πολύπλοκα προβλήματα.	Αυξημένη πολυπλοκότητα, μεγάλος αριθμός συγκρίσεων, δυσκολία ερμηνείας σε μεγάλα σύνολα δεδομένων.
Μέθοδοι Άμεσης Στάθμισης	Εύκολη και γρήγορη εφαρμογή, υψηλή διαφάνεια, κατανοητές από τους συμμετέχοντες.	Υποκειμενικότητα, ενδεχόμενη ασυνέπεια στις εκτιμήσεις, περιορισμένη ακρίβεια σε πολύπλοκα προβλήματα.
Μέθοδοι Αντικειμενικής Στάθμισης	Αποφεύγουν την υποκειμενικότητα, βασίζονται σε πραγματικά δεδομένα.	Δεν λαμβάνουν υπόψη τις προτιμήσεις των ενδιαφερομένων, ενδέχεται να υποβαθμίσουν σημαντικά αλλά ομοιογενή κριτήρια.
Μέθοδοι Εγγύτητας στην Ιδεατή Λύση	Παρέχουν σαφή κατάταξη, εύκολη ερμηνεία των αποτελεσμάτων.	Ευαισθησία στην επιλογή βαρών και στη διαδικασία κανονικοποίησης.

Μέθοδοι Δικτύου και Αλληλεξάρτησης	Λαμβάνουν υπόψη την πολυπλοκότητα και τις αλληλεξαρτήσεις του συστήματος.	Πολυπλοκότητα στην εφαρμογή, απαιτούν εκτεταμένη πληροφόρηση.
Υβριδικές και Νεότερες Μέθοδοι	Συνδυάζουν τα πλεονεκτήματα διαφορετικών προσεγγίσεων, ενισχύουν τη συνέπεια και την αξιοπιστία.	Υποκειμενικότητα (εκτός BWM), περιορισμένη ακρίβεια σε πολύπλοκα προβλήματα.

4.4 Επιλογή και Περιγραφή των Μεθόδων που Χρησιμοποιήθηκαν

Η αξιόπιστη ιεράρχηση και στάθμιση των μη ενεργειακών οφελών (non-energy benefits) στην ενεργειακή ανακαίνιση κτιρίων απαιτεί την εφαρμογή κατάλληλων μεθοδολογιών πολυκριτήριας ανάλυσης, προσαρμοσμένων στη φύση και στη δομή των υπό εξέταση κριτηρίων και υποκριτηρίων. Στην παρούσα εργασία, η Best-Worst Method (BWM) εφαρμόστηκε για τον προσδιορισμό των βαρών των εννέα βασικών κριτηρίων των μη ενεργειακών οφελών, ενώ η Point Allocation χρησιμοποιήθηκε για την εκτίμηση της σχετικής σημασίας των υποκριτηρίων κάθε βασικού κριτηρίου. Ο συνδυασμός των δύο μεθόδων διασφαλίζει την ακρίβεια, τη συνέπεια και τη διαφάνεια στη διαδικασία στάθμισης, λαμβάνοντας υπόψη τόσο την ανάγκη για συστηματική αξιολόγηση όσο και την πρακτικότητα στη συλλογή δεδομένων από τους συμμετέχοντες.

4.4.1 Αιτιολόγηση Επιλογής Μεθόδων

Η Best-Worst Method (BWM) επιλέχθηκε ως βασική μέθοδος για την ιεράρχηση των εννέα κύριων κριτηρίων των non-energy benefits λόγω της ικανότητάς της να προσφέρει υψηλή συνέπεια στα αποτελέσματα με περιορισμένο αριθμό συγκρίσεων. Η BWM είναι ιδιαίτερα κατάλληλη για προβλήματα μεσαίας πολυπλοκότητας, όπως η στάθμιση ενός διαχειρίσιμου αριθμού βασικών κριτηρίων, ενώ η μαθηματική βελτιστοποίηση που ενσωματώνει διασφαλίζει την αξιοπιστία των τελικών βαρών.

Για τα υποκριτήρια κάθε βασικού κριτηρίου, επιλέχθηκε η Point Allocation, η οποία επιτρέπει την άμεση και κατανοητή κατανομή πόντων από τους συμμετέχοντες, αντανakλώντας με σαφήνεια τις προτιμήσεις τους. Η μέθοδος αυτή είναι ιδανική για περιπτώσεις όπου ο αριθμός των υποκριτηρίων είναι μικρός έως μεσαίος και οι συμμετέχοντες διαθέτουν επαρκή γνώση του αντικειμένου.

Ο διαχωρισμός των μεθοδολογιών ανά επίπεδο (κριτήρια/υποκριτήρια) επιτρέπει τη βέλτιστη αξιοποίηση των πλεονεκτημάτων κάθε μεθόδου, ενώ ταυτόχρονα διευκολύνει τη συμμετοχή εμπειρογνομώνων και ενδιαφερομένων στη διαδικασία αξιολόγησης.

4.4.2 Περιγραφή της Μεθόδου Best-Worst Method (BWM)

Η Best-Worst Method (BWM) είναι μια σύγχρονη μέθοδος προσδιορισμού βαρών κριτηρίων που βασίζεται στη σύγκριση του σημαντικότερου (best) και του λιγότερο σημαντικού (worst) κριτηρίου με τα υπόλοιπα. Η διαδικασία εφαρμογής της BWM στα εννέα βασικά κριτήρια των non-energy benefits περιλαμβάνει τα εξής στάδια:

1. Επιλογή του καλύτερου (best) και του χειρότερου (worst) κριτηρίου από το σύνολο των εννέα κριτηρίων.
2. Σύγκριση του καλύτερου κριτηρίου ως προς όλα τα υπόλοιπα, με χρήση προκαθορισμένης κλίμακας (συνήθως 1-9), ώστε να δημιουργηθεί το διάνυσμα προτίμησης best-to-others.
3. Σύγκριση όλων των κριτηρίων ως προς το χειρότερο κριτήριο, ώστε να δημιουργηθεί το διάνυσμα others-to-worst.
4. Επίλυση προβλήματος βελτιστοποίησης για τον υπολογισμό των τελικών βαρών, με στόχο τη μέγιστη δυνατή συνέπεια μεταξύ των συγκρίσεων.

Η BWM απαιτεί λιγότερες συγκρίσεις σε σχέση με άλλες μεθόδους (όπως το AHP), μειώνοντας το γνωστικό φορτίο των συμμετεχόντων και αυξάνοντας τη συνέπεια των αποτελεσμάτων.

4.4.3 Περιγραφή της Μεθόδου Point Allocation

Η Point Allocation χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό των βαρών των υποκριτηρίων κάθε βασικού κριτηρίου. Η μέθοδος αυτή βασίζεται στην κατανομή ενός συγκεκριμένου αριθμού πόντων (π.χ. 10) στα υποκριτήρια, σύμφωνα με τη σχετική σημασία που τους αποδίδουν οι συμμετέχοντες. Η διαδικασία περιλαμβάνει:

1. Παρουσίαση των υποκριτηρίων κάθε βασικού κριτηρίου στους συμμετέχοντες.
2. Κατανομή πόντων στα υποκριτήρια, αντανakλώντας τη σχετική τους σημασία.
3. Συγκέντρωση και άθροιση των πόντων ανά υποκριτήριο.
4. Υπολογισμός των τελικών βαρών ως ποσοστό επί του συνόλου των πόντων.

Η Point Allocation είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική για την ιεράρχηση μικρού ή μεσαίου αριθμού υποκριτηρίων, καθώς διευκολύνει τη συμμετοχή και την κατανόηση της διαδικασίας από τους εμπλεκόμενους.

4.4.4 Διαδικασία Εφαρμογής στη Συγκεκριμένη Έρευνα

Η εφαρμογή των μεθόδων πραγματοποιήθηκε σε δύο στάδια. Αρχικά, η BWM χρησιμοποιήθηκε για την ιεράρχηση και στάθμιση των εννέα βασικών κριτηρίων των non-energy benefits, με τη συμμετοχή εμπειρογνομόνων και ενδιαφερομένων χρηστών σε ερωτηματολόγιο. Στη συνέχεια, για κάθε βασικό κριτήριο, εφαρμόστηκε η μέθοδος Point Allocation στα αντίστοιχα υποκριτήρια, ώστε να προσδιοριστεί η σχετική τους σημασία εντός

της κατηγορίας τους. Τα τελικά βάρη των υποκριτηρίων προέκυψαν από τον συνδυασμό των βαρών των βασικών κριτηρίων (BWM) και των υποκριτηρίων (Point Allocation), επιτρέποντας τη συνολική ιεράρχηση όλων των παραμέτρων που συνθέτουν τα μη ενεργειακά οφέλη.

4.5 Παραδείγματα Εφαρμογής στη Βιβλιογραφία

Στην παρούσα ενότητα, ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στη μελέτη και αξιολόγηση πολυκριτηριακών μεθόδων προσδιορισμού βαρών, συγκεκριμένα στη Best-Worst Method (BWM) και στη Point Allocation. Για την τεκμηρίωση της καταλληλότητας των μεθόδων αυτών, παρουσιάζονται στη συνέχεια χαρακτηριστικά παραδείγματα εφαρμογής από τη διεθνή βιβλιογραφία, τα οποία αναδεικνύουν τη λειτουργικότητα, την ευελιξία και τη χρησιμότητά τους σε διαφορετικά πεδία ανάλυσης και λήψης αποφάσεων.

4.5.1 Παραδείγματα Εφαρμογής της Μεθόδου Best-Worst (BWM)

Η μέθοδος Best-Worst (BWM), που προτάθηκε από τον Rezaei (2015), έχει εφαρμοστεί ευρέως για την ανάθεση βαρών σε κριτήρια στο πλαίσιο πολύκριτηριακής ανάλυσης αποφάσεων (MCDA). Η ικανότητά της να παρέχει συνεπή και αξιόπιστα βάρη με περιορισμένο αριθμό συγκρίσεων την καθιστά ιδιαίτερα κατάλληλη για προβλήματα λήψης αποφάσεων υπό αβεβαιότητα. Στη συνέχεια παρουσιάζονται αντιπροσωπευτικά παραδείγματα εφαρμογής της μεθόδου BWM.

1. Επιλογή Αναδόχων για Αναπαλαίωση Ιστορικών Κτιρίων (Long et al., 2025)

Στην εργασία των Long et al. (2025), η μέθοδος BWM ενσωματώνεται σε ένα υβριδικό μοντέλο μαζί με τη μέθοδο Fuzzy TOPSIS για την αξιολόγηση αναδόχων σε έργα αποκατάστασης πολιτιστικής κληρονομιάς στο Δέλτα του Μεκόνγκ. Οι συγγραφείς εντοπίζουν 12 κριτήρια αξιολόγησης, λαμβάνοντας υπόψη πολιτιστικά, οικονομικά και τεχνικά χαρακτηριστικά της περιοχής. Η BWM εφαρμόζεται με Τριγωνικούς Ασαφείς Αριθμούς (Triangular Fuzzy Numbers - TFN) και υποστηρίζει την αξιολόγηση από πολλαπλούς λήπτες απόφασης. Τα βάρη των κριτηρίων υπολογίζονται με τη χρήση ενός συστήματος μη γραμμικών εξισώσεων και η συνοχή του μοντέλου αξιολογείται με δείκτη 0.039, που δηλώνει υψηλή αξιοπιστία. Το κριτήριο με τη μεγαλύτερη βαρύτητα είναι η «συμμόρφωση με τις απαιτήσεις υλικών και αρχιτεκτονικής».

2. Επιλογή Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας με Χρήση D-BWM (Mousavi-Nasab & Sotoudeh-Anvari, 2020)

Η εργασία αυτή προτείνει μια επέκταση της μεθόδου BWM με χρήση της θεωρίας των D-numbers (D-BWM), για την αντιμετώπιση της αβεβαιότητας στην αξιολόγηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η D-BWM συνδυάζει τα πλεονεκτήματα της BWM στην ανάθεση βαρών με την ικανότητα των D-numbers να μοντελοποιούν ασαφείς και ελλιπείς πληροφορίες. Στη συνέχεια, εφαρμόζεται το WASPAS για την κατάταξη των εναλλακτικών. Το μοντέλο εφαρμόζεται στην περίπτωση του Ιράν, όπου καταλήγει στην ηλιακή ενέργεια ως την

καλύτερη επιλογή. Η συνεισφορά της μελέτης έγκειται στην επέκταση της BWM για περιβάλλοντα μεγάλης αβεβαιότητας, όπως είναι η επιλογή ενεργειακής πολιτικής.

3. Ιεράρχηση Κινδύνων σε Έργα Water Saving Management Contracts (Ma et al., 2021)

Οι Ma et al. (2021) εφαρμόζουν τη μέθοδο BWM για την ιεράρχηση κινδύνων που σχετίζονται με τη διάρκεια ζωής έργων διαχείρισης εξοικονόμησης νερού (WSMC). Οι συγγραφείς ομαδοποιούν τους κινδύνους σε 12 κατηγορίες και 29 επιμέρους παράγοντες, τους οποίους αξιολογεί μια επιτροπή εμπειρογνομόνων. Η BWM χρησιμοποιείται για την ανάθεση βαρών σε κατηγορίες και υποκατηγορίες κινδύνου, και στη συνέχεια για την ιεράρχηση των κινδύνων σε όλα τα στάδια του κύκλου ζωής του έργου. Ο κίνδυνος που προκύπτει από τη διαπραγμάτευση και υπογραφή του συμβολαίου χαρακτηρίζεται ως ο πιο σημαντικός, ενώ ο λιγότερο σημαντικός αφορά την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων εξοικονόμησης.

4. Συγκριτική αξιολόγηση της βιωσιμότητας στην καλλιέργεια ρυζιού με συνδυασμό οικο-αποδοτικότητας και BWM (Alijani et al., 2025)

Στη μελέτη των Alijani et al. (2023), αναπτύσσεται ένα συνδυαστικό πλαίσιο αξιολόγησης της βιωσιμότητας στην καλλιέργεια ρυζιού, ενσωματώνοντας δείκτες οικο-αποδοτικότητας (eco-efficiency) και τη μέθοδο Best-Worst (BWM). Στόχος της μελέτης είναι η κατάταξη γεωργικών μονάδων με βάση τρία βασικά κριτήρια: περιβαλλοντικό, κοινωνικό και οικονομικό. Η BWM χρησιμοποιείται για την ανάθεση βαρών σε συνολικά δεκατρία υποκριτήρια, με βάση τις απόψεις ειδικών του γεωργικού τομέα. Η ανάλυση πραγματοποιείται σε 20 γεωργικές περιοχές στην Ινδονησία και αναδεικνύει ως πιο σημαντική τη συμβολή των κοινωνικών παραμέτρων στη βιωσιμότητα των συστημάτων καλλιέργειας. Η μελέτη καταλήγει ότι η προτεινόμενη μεθοδολογία μπορεί να υποστηρίξει στρατηγικές λήψης αποφάσεων για την προώθηση βιώσιμης γεωργίας.

5. Ανάπτυξη ενός νέου συστήματος βαθμολόγησης βιωσιμότητας για κατασκευαστικά έργα με χρήση BWM (Alsharkawy et al., 2025)

Οι Alsharkawy et al. (2025), αξιοποιούν την BWM για την ανάπτυξη ενός νέου συστήματος αξιολόγησης της βιωσιμότητας κατασκευαστικών έργων, προσαρμοσμένου στις τοπικές ανάγκες του Ιράκ. Αρχικά, οι ερευνητές εντοπίζουν έξι βασικές διαστάσεις βιωσιμότητας: περιβαλλοντική, κοινωνική, οικονομική, διαχείρισης έργου, τεχνολογική και σχετική με διαθέσιμους πόρους. Τα υποκριτήρια καθορίστηκαν μέσω της μεθόδου Fuzzy Delphi, ενώ η BWM εφαρμόστηκε για την ανάθεση βαρών βάσει των προτιμήσεων ειδικών. Το σύστημα εφαρμόστηκε σε μελέτη περίπτωσης και αποδείχθηκε αποτελεσματικό στη διαφοροποίηση έργων ως προς τη βιωσιμότητά τους, παρέχοντας μια δομημένη και αντικειμενική βάση για λήψη αποφάσεων στον τομέα της κατασκευής.

6. Αξιολόγηση βιώσιμων ενεργειακών συστημάτων σε έξυπνες πόλεις με Pythagorean Fuzzy BWM και TOPSIS (Otay et al., 2024)

Η μελέτη των Otay et al. (2024) παρουσιάζει ένα πολυκριτήριο πλαίσιο αξιολόγησης για βιώσιμα ενεργειακά συστήματα σε έξυπνες πόλεις, ενσωματώνοντας την Pythagorean Fuzzy BWM και τη μέθοδο TOPSIS. Η BWM χρησιμοποιείται για την ανάθεση βαρών σε έξι βασικές

κατηγορίες κριτηρίων (οικονομικά, κοινωνικά, περιβαλλοντικά, τεχνολογικά, πολιτικά και τεχνικά), λαμβάνοντας υπόψη την αβεβαιότητα στις απόψεις πολλαπλών εμπειρογνομόνων. Η μέθοδος αξιοποιεί την ευελιξία των Pythagorean fuzzy sets για την καλύτερη αποτύπωση της υποκειμενικότητας. Στη συνέχεια, η TOPSIS χρησιμοποιείται για την κατάταξη έξι εναλλακτικών ενεργειακών λύσεων. Τα αποτελέσματα προσφέρουν σημαντική υποστήριξη για στρατηγικές αποφάσεις στον τομέα της βιώσιμης ενέργειας, ειδικά σε πολυσύνθετα και αστικά περιβάλλοντα.

7. Προσδιορισμός προκλήσεων και φραγμών για την ανάπτυξη της ηλιακής ενέργειας με χρήση Fuzzy BWM (Mostafaeipour et al., 2021)

Η εργασία αυτή εστιάζει στην ταυτοποίηση και ιεράρχηση των εμποδίων που αντιμετωπίζει η ανάπτυξη της ηλιακής ενέργειας στην επαρχία Alborz του Ιράν, χρησιμοποιώντας την ασαφή μέθοδο Best-Worst (Fuzzy BWM). Αρχικά, οι συγγραφείς εντόπισαν τα σχετικά εμπόδια μέσω βιβλιογραφικής ανασκόπησης και συνεντεύξεων με ειδικούς του κλάδου, τα οποία ταξινομήθηκαν σε πέντε βασικές κατηγορίες: τεχνικά, νομικά, οικονομικά, κοινωνικο-πολιτισμικά και υποστηρικτικά. Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε με τη χρήση ερωτηματολογίων, όπου οι ειδικοί κλήθηκαν να αξιολογήσουν τη σχετική σημασία κάθε κατηγορίας και των επιμέρους υποκριτηρίων με ασαφείς (fuzzy) συγκρίσεις, προκειμένου να ληφθεί υπόψη η αβεβαιότητα και η υποκειμενικότητα των εκτιμήσεων. Η BWM επέτρεψε τη μείωση του αριθμού των συγκρίσεων και την αύξηση της συνέπειας στα βάρη των κριτηρίων, προσφέροντας μεγαλύτερη αξιοπιστία σε σχέση με παραδοσιακές μεθόδους όπως η AHP.

8. Μια νέα στοχαστική γενική μέθοδος Fuzzy BWM βασισμένη σε σενάρια (Tavana et al., 2024)

Η εργασία αυτή παρουσιάζει μια νέα γενικευμένη εκδοχή της μεθόδου Best-Worst (BWM), η οποία ενσωματώνει ασαφή λογική (fuzzy logic), ανάλυση σεναρίων και στοχαστικές παραμέτρους για την υποστήριξη λήψης αποφάσεων υπό αβεβαιότητα. Η διαδικασία περιλαμβάνει τον ορισμό εναλλακτικών σεναρίων, τη συλλογή προτιμήσεων μέσω ασαφών συγκρίσεων μεταξύ των καλύτερων και χειρότερων κριτηρίων για κάθε σενάριο, καθώς και τον υπολογισμό των βαρών με στοχαστικά και ασαφή μαθηματικά μοντέλα. Η μέθοδος αξιολογείται σε πραγματικά παραδείγματα, όπως η επιλογή οχήματος, όπου λαμβάνονται υπόψη πολλαπλά κριτήρια κόστους, άνεσης, ενεργειακής απόδοσης, υπολειμματικής αξίας και κινήτρων. Η γενικευμένη fuzzy BWM αποδεικνύεται αποτελεσματική στη μείωση της υποκειμενικότητας, στην αύξηση της συνέπειας και στη διαχείριση της αβεβαιότητας, καθιστώντας την κατάλληλη για εφαρμογές σε τομείς όπως η ενέργεια, οι μεταφορές και η στρατηγική διαχείριση.

9. Μια Fuzzy BWM μέθοδος βάσει των α - διαστημάτων για πολυκριτήρια ανάλυση αποφάσεων (Ratandhara & Kumar, 2024)

Η εργασία αυτή παρουσιάζει μια νέα εκδοχή της μεθόδου Best-Worst Method (BWM) για πολυκριτήρια ανάλυση αποφάσεων, η οποία ενσωματώνει τη θεωρία α -cut intervals στη Fuzzy Best-Worst Method (FBWM). Η νέα προσέγγιση, που βασίζεται στα διαστήματα α -cut, επιτρέπει τη βελτιστοποίηση ολόκληρου του σχήματος των ασαφών συγκρίσεων, μειώνοντας έτσι την απώλεια πληροφορίας και ενσωματώνοντας ακριβείς ασαφείς αριθμητικές πράξεις

στον υπολογισμό των βαρών. Το μαθηματικό μοντέλο που προτείνεται επιλύεται με βελτιστοποίηση σε διακριτά διαστήματα α -cut, ενώ εισάγεται και ένας νέος δείκτης συνέπειας (Consistency Index) για την αξιολόγηση της αξιοπιστίας των βαρών. Η συμβολή της εργασίας έγκειται στην πληρέστερη αξιοποίηση της πληροφορίας που παρέχουν τα ασαφή δεδομένα, προσφέροντας ένα πιο ακριβές και ρεαλιστικό εργαλείο για πολύπλοκα προβλήματα λήψης αποφάσεων υπό αβεβαιότητα.

10. Μια Fuzzy επέκταση της απλοποιημένης BMW μεθόδου (F-SBWM) και των εφαρμογών της σε προβλήματα λήψης αποφάσεων (Amiri et al., 2022)

Στην εργασία αυτή αναπτύσσεται μια απλοποιημένη ασαφής εκδοχή της μεθόδου Best-Worst Method (F-SBWM), με στόχο να διευκολύνει τη λήψη αποφάσεων σε περιβάλλοντα αβεβαιότητας χωρίς την ανάγκη για πολύπλοκους μαθηματικούς υπολογισμούς ή εξειδικευμένο λογισμικό. Η μέθοδος διατηρεί τα πλεονεκτήματα της αρχικής BMW, όπως ο μικρός αριθμός συγκρίσεων και η απλότητα, ενώ προσφέρει τη δυνατότητα υποστήριξης αποφάσεων υπό αβέβαιες συνθήκες μέσω της χρήσης απλών ασαφών τελεστών και μαθηματικών σχέσεων. Η μέθοδος εφαρμόζεται σε αριθμητικά παραδείγματα και σε πραγματικές περιπτώσεις, όπως η επιλογή τοποθεσίας αποθήκης και η επιλογή ιατρικής μάσκας, αποδεικνύοντας την ευελιξία και την αξιοπιστία της. Τέλος, πραγματοποιείται ανάλυση ευαισθησίας και σύγκριση με άλλες μεθόδους, με τα αποτελέσματα να δείχνουν ότι η F-SBWM παρέχει συγκρίσιμα ή και βελτιωμένα αποτελέσματα με μικρότερη υπολογιστική πολυπλοκότητα.

4.5.2 Παραδείγματα Εφαρμογής της Μεθόδου Point Allocation

Η μέθοδος Point Allocation (ή αλλιώς μέθοδος άμεσης κατανομής σημείων) αποτελεί μία από τις πιο απλές αλλά και λειτουργικές προσεγγίσεις για την ανάθεση βαρών σε κριτήρια στο πλαίσιο της πολυκριτηριακής ανάλυσης αποφάσεων (MCDM). Σε αντίθεση με πιο πολύπλοκες μεθόδους, η Point Allocation βασίζεται στην άμεση και διαισθητική κρίση του αξιολογητή, ο οποίος καλείται να κατανείμει έναν συγκεκριμένο αριθμό μονάδων (π.χ. 100 βαθμούς) μεταξύ των διαθέσιμων υποκριτηρίων, ανάλογα με τη σχετική τους σημασία.

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται ενδεικτικές εφαρμογές της μεθόδου Point Allocation από τη διεθνή βιβλιογραφία, οι οποίες αναδεικνύουν τις δυνατότητες και τα πλεονεκτήματά της σε διάφορους τομείς λήψης αποφάσεων.

1. Ανασκόπηση υποκειμενικών μεθόδων στάθμισης κριτηρίων σε MCDM προβλήματα

Στην εργασία του Odu (2019), παρουσιάζεται μια συγκριτική ανάλυση μεθόδων στάθμισης κριτηρίων στο πλαίσιο πολυκριτηριακής ανάλυσης αποφάσεων. Η Point Allocation περιγράφεται ως μία από τις απλούστερες και πλέον κατανοητές υποκειμενικές μεθόδους, κατάλληλη για περιβάλλοντα όπου οι λήπτες αποφάσεων προτιμούν απλές, διαισθητικές διαδικασίες. Ο συγγραφέας αναφέρει χαρακτηριστικά παραδείγματα χρήσης, όπως στην αξιολόγηση τεχνικών χαρακτηριστικών smartphones, όπου οι χρήστες κατανέμουν 100 μονάδες σε πέντε κριτήρια (κόστος, ανάλυση οθόνης, διάρκεια μπαταρίας, μνήμη RAM,

εσωτερική αποθήκευση). Η μέθοδος αναγνωρίζεται για την ευκολία χρήσης της, ιδίως όταν οι λήπτες αποφάσεων δεν διαθέτουν εξειδικευμένες γνώσεις, ενώ επισημαίνεται πως μπορεί να γίνει δυσκολότερη όταν τα κριτήρια υπερβαίνουν τα έξι.

2. Πειραματική μελέτη σύγκλισης μεθόδων στάθμισης πολυκριτηριακής αξίας

Στην εμβληματική πειραματική μελέτη των Røyhönen και Härmäläinen (2001), εξετάζεται η συγκλίνουσα εγκυρότητα πέντε μεθόδων στάθμισης χαρακτηριστικών, μεταξύ των οποίων η Direct Point Allocation. Η μέθοδος εφαρμόστηκε σε πλαίσιο διαδικτυακού πειράματος, όπου οι συμμετέχοντες κλήθηκαν να αναπτύξουν δικά τους χαρακτηριστικά και εναλλακτικές και να κατανεμήσουν βάρη χωρίς προκαθορισμένους περιορισμούς ή συνολικό άθροισμα π.χ. 100 μονάδων. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η μέθοδος παρήγαγε μικρότερη διασπορά βαρών συγκριτικά με πιο σύνθετες μεθόδους (όπως AHP ή Tradeoff), γεγονός που επιβεβαιώνει την τάση των χρηστών να αποφεύγουν ακραίες βαθμολογήσεις. Η μελέτη αυτή υπογραμμίζει τον διαισθητικό χαρακτήρα της Point Allocation και τη συμβατότητά της με πραγματικά, προσωποποιημένα προβλήματα λήψης απόφασης.

3. Συνδυασμός Point Allocation και FUCOM για αξιολόγηση πληροφοριακών συστημάτων HR

Στην πρόσφατη εργασία των Esangbedo et al. (2021), αναπτύσσεται μια υβριδική μέθοδος στάθμισης, η Grey-PA-FUCOM, η οποία συνδυάζει την απλότητα της Point Allocation με τη συνέπεια και αυστηρότητα της μεθόδου FUCOM, ενσωματώνοντας επιπλέον στοιχεία από τη θεωρία γκρι συστημάτων (Grey System Theory - GST). Η μελέτη εφαρμόζεται στην αξιολόγηση πληροφοριακών συστημάτων ανθρώπινου δυναμικού (HRIS), χρησιμοποιώντας δύο επίπεδα κριτηρίων. Αρχικά, οι χρήστες κατανέμουν ποσοστά βαρύτητας στα βασικά επίπεδα κριτηρίων μέσω Point Allocation, τα οποία στη συνέχεια κανονικοποιούνται και συνδυάζονται με υποβαθμίδες που αποδίδονται μέσω της FUCOM. Το υβριδικό αυτό σχήμα επιτρέπει την ενσωμάτωση απλών, διαισθητικών προτιμήσεων (από HR managers) σε ένα πιο δομημένο και συνεκτικό πλαίσιο αξιολόγησης, προσαρμοσμένο στην αβεβαιότητα που χαρακτηρίζει τέτοιου είδους αποφάσεις.

4. Εφαρμογή Point Allocation στο σχεδιασμό δασικών πόρων μέσω λογισμικού MCDA

Η μελέτη των Korosuo et al. (2011) παρουσιάζει την ενσωμάτωση της πολυκριτηριακής ανάλυσης σε ένα εργαλείο υποστήριξης απόφασης για το στρατηγικό σχεδιασμό δασών στη Σουηδία. Το λογισμικό PlanWise περιλαμβάνει το υποσύστημα PlanEval, το οποίο επιτρέπει στον χρήστη να συγκρίνει εναλλακτικά σχέδια διαχείρισης δασικών εκτάσεων. Κατά τη διαδικασία ανάλυσης, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να επιλέξει μεταξύ διαφορετικών μεθόδων ανάθεσης βαρών, συμπεριλαμβανομένης της μεθόδου άμεσης κατανομής σημείων (Point Allocation). Στο πλαίσιο της μελέτης περίπτωσης, ο διαχειριστής ενός δασικού κτήματος κατανέμει 100 μονάδες βαρύτητας μεταξύ των αντικειμενικών στόχων, όπως η παραγωγή ξυλείας, η αναψυχή και η διατήρηση της βιοποικιλότητας. Η Point Allocation αξιοποιείται εδώ για τη διαισθητική έκφραση προτιμήσεων σε ένα περιβάλλον υψηλής πολυπλοκότητας και γεωγραφικής ανάλυσης, ενισχύοντας την απλότητα και τη διαφάνεια της διαδικασίας.

5. Ανάλυση προτιμήσεων εμπλεκόμενων μερών στην υγειονομική αξιολόγηση φαρμάκων στην Ιταλία

Στη μελέτη των Garau et al. (2017), η μέθοδος Point Allocation χρησιμοποιείται στο πλαίσιο εφαρμογής του πλαισίου MCDA EVIDEM για την αποτύπωση των προτιμήσεων διαφόρων ομάδων εμπλεκόμενων (ασθενείς, ιατροί, πληρωτές) σχετικά με την αποζημίωση του φαρμάκου Obinutuzumab για τη θεραπεία της ανθεκτικής μορφής του λεμφώματος iNHL. Οι συμμετέχοντες καλούνται να κατανεύουν 100 μονάδες μεταξύ πέντε βασικών τομέων (όπως ανάγκη για παρέμβαση, κλινική αποτελεσματικότητα, κόστος, κ.λπ.) και στη συνέχεια να κατανεύουν μονάδες εντός των επιμέρους κριτηρίων κάθε τομέα. Η μέθοδος επιλέχθηκε για την απλότητα και τη δυνατότητά της να «αναγκάσει» τους συμμετέχοντες να ιεραρχήσουν αυστηρά τις προτιμήσεις τους. Τα αποτελέσματα ανέδειξαν σημαντικές διαφορές μεταξύ ομάδων: οι ασθενείς και οι ιατροί έδωσαν μεγαλύτερη έμφαση στη σοβαρότητα της ασθένειας και το θεραπευτικό όφελος, ενώ οι πληρωτές επικέντρωσαν περισσότερο στην ύπαρξη ανεκπλήρωτων αναγκών και στην ποιότητα των διαθέσιμων στοιχείων.

6. Θεωρητική και προσομοιωτική μελέτη προσέγγισης βαρών σε πολυκριτηριακά μοντέλα

Στο άρθρο των Roberts και Goodwin (2002), εξετάζονται θεωρητικά οι ιδιότητες της Point Allocation ως μεθόδου ανάθεσης βαρών, σε σύγκριση με προσεγγιστικές μεθόδους όπως οι Rank Order Centroid (ROC) και Rank Sum (RS). Οι συγγραφείς υποστηρίζουν ότι όταν οι «πραγματικές» προτιμήσεις των χρηστών ακολουθούν το πρότυπο κατανομής σημείων (point allocation under constraint), τότε οι ROC βάρη προσεγγίζουν ικανοποιητικά τις αρχικές τιμές. Ωστόσο, όταν οι χρήστες χρησιμοποιούν πιο άτυπες ή αυθαίρετες βαθμολογήσεις (όπως direct rating χωρίς προκαθορισμένο άθροισμα), τότε οι ROC αποτυγχάνουν. Η μελέτη αυτή τεκμηριώνει την ανάγκη επιλογής της κατάλληλης μεθόδου ανάλογα με τον τρόπο που συλλέγονται οι προτιμήσεις των συμμετεχόντων και επιβεβαιώνει την καταλληλότητα της Point Allocation σε περιβάλλοντα όπου ζητείται απλή και αυθόρμητη κατανομή προτεραιοτήτων.

7. Αξιολόγηση απόδοσης ανταγωνιστικών μοντέλων πρόβλεψης: Ένα πολυδιάστατο πλαίσιο βασισμένο στο MCDA

Η μελέτη των Xu και Ouenniche (2012) προτείνει ένα πολυκριτηριακό πλαίσιο για την αξιολόγηση μοντέλων πρόβλεψης τιμών πετρελαίου, το οποίο βασίζεται σε μεθόδους MCDA. Οι συγγραφείς αξιολογούν δέκα εναλλακτικά μοντέλα πρόβλεψης με βάση τρία βασικά κριτήρια: το βαθμό προσαρμογής (goodness-of-fit), τη μεροληψία (bias) και τη σωστή κατεύθυνση πρόβλεψης (correct sign). Για τη στάθμιση των κριτηρίων, εφαρμόζεται η τεχνική της άμεσης ανάθεσης βαρών (point allocation), κατά την οποία οι συντελεστές βαρύτητας ορίζονται βάσει εμπειρικής κρίσης των ερευνητών. Χρησιμοποιείται ενδεικτικά ένας πίνακας βαρών 50%-30%-20% για τα τρία κριτήρια, γεγονός που αποτυπώνει τη σχετική σημασία τους στην τελική αξιολόγηση. Η τεχνική αυτή προσφέρει ένα απλό και κατανοητό μέσο για τον προσδιορισμό βαρών και συμβάλλει στην ενσωμάτωση της υποκειμενικής κρίσης των ειδικών στην ανάλυση. Η μελέτη καταλήγει στο συμπέρασμα ότι η επιλογή διαφορετικών συνόλων βαρών δεν επηρεάζει σημαντικά τις ακραίες θέσεις κατάταξης, υποδηλώνοντας τη σχετική σταθερότητα των αποτελεσμάτων της πολυκριτηριακής ανάλυσης.

8. Αξιολόγηση πολυκριτηριακών μεθόδων στην ολοκληρωμένη ανάλυση της πολιτικής για το κλίμα

Η εργασία των Bell et al. (2001) εξετάζει συγκριτικά διάφορες πολυκριτηριακές μεθόδους στο πλαίσιο της ολοκληρωμένης αξιολόγησης πολιτικών για την κλιματική αλλαγή. Κατά τη διάρκεια σχετικού εργαστηρίου, οι συμμετέχοντες (επιστήμονες, φορείς πολιτικής και ειδικοί στην ολοκληρωμένη αξιολόγηση) κλήθηκαν να εκφράσουν τις προτιμήσεις τους ως προς έξι περιβαλλοντικά και κοινωνικά κριτήρια (όπως η αύξηση της θερμοκρασίας, η στάθμη της θάλασσας, το κόστος, οι εκπομπές SO₂, τα πυρηνικά απόβλητα και η περιβαλλοντική πίεση). Μεταξύ των τεχνικών που εφαρμόστηκαν ήταν και η point allocation, όπου οι συμμετέχοντες καλούνταν να αποδώσουν βάρη στα κριτήρια με άμεσο και διαφανή τρόπο, αντανakλώντας τη σχετική σημασία τους. Τα αποτελέσματα ανέδειξαν σημαντικές διαφοροποιήσεις στις προτιμήσεις ανάλογα με τη μέθοδο στάθμισης που χρησιμοποιήθηκε, ενώ η point allocation αξιολογήθηκε ως εύχρηστη και προσιτή, ιδανική για περιπτώσεις συμμετοχικής χάραξης πολιτικής. Η μελέτη ανέδειξε την αξία της εφαρμογής πολλαπλών μεθόδων για την ενίσχυση της εμπιστοσύνης και της πληρότητας της ανάλυσης.

9. Έχει σημασία η τεχνική; Μια πιλοτική μελέτη που διερευνά τεχνικές στάθμισης για ένα πλαίσιο υποστήριξης αποφάσεων πολλαπλών κριτηρίων

Στην πιλοτική αυτή μελέτη, οι van Til et al. (2014) διερευνούν τον ρόλο διαφορετικών τεχνικών στάθμισης κριτηρίων στο πλαίσιο υποστήριξης λήψης αποφάσεων για την αποζημίωση τεχνολογιών υγείας. Χρησιμοποιήθηκαν πέντε μέθοδοι, μεταξύ των οποίων και η point allocation, κατά την οποία οι συμμετέχοντες καλούνταν να κατανεύουν έναν περιορισμένο αριθμό πόντων (100) σε 14 προκαθορισμένα κριτήρια από το πλαίσιο EVIDEM, αντικατοπτρίζοντας έτσι τη σχετική σημασία τους. Η μελέτη έδειξε ότι σε επίπεδο ομάδας, η επιλογή της μεθόδου στάθμισης δεν επηρέασε σημαντικά τα συνολικά αποτελέσματα, ωστόσο σε ατομικό επίπεδο υπήρξαν αξιοσημείωτες αποκλίσεις στις κατανομές βαρών και στις κατατάξεις εναλλακτικών λύσεων. Η point allocation αναδείχθηκε ως μια απλή, κατανοητή και επαρκώς διακριτική τεχνική, ιδιαίτερα κατάλληλη για εφαρμογές με μεγάλο πλήθος κριτηρίων και χρήστες με περιορισμένη εμπειρία σε τεχνικές ανάλυσης αποφάσεων.

10. Χρήση πολυκριτηριακής ανάλυσης και οπτικοποίησης για τον αειφόρο σχεδιασμό διαχείρισης δασών με ομάδες ενδιαφερομένων

Η παρούσα μελέτη (Sheppard & Meitner, 2005) παρουσιάζει μια καινοτόμο προσέγγιση για την ενσωμάτωση της συμμετοχής των εμπλεκόμενων φορέων στον σχεδιασμό αειφόρου διαχείρισης δασών, μέσω της εφαρμογής πολυκριτηριακής ανάλυσης και εργαλείων οπτικοποίησης. Η διαδικασία σχεδιάστηκε στο πλαίσιο πιλοτικής εφαρμογής στη δασική περιοχή Lemon Landscape Unit στη Βρετανική Κολομβία του Καναδά, με τη συμμετοχή εννέα ομάδων ενδιαφερομένων (stakeholders) και στόχο την αξιολόγηση εναλλακτικών σεναρίων δασικής διαχείρισης βάσει κριτηρίων βιωσιμότητας. Για τη στάθμιση των εννέα κριτηρίων αξιολόγησης, οι συμμετέχοντες κλήθηκαν να χρησιμοποιήσουν τρεις διαφορετικές τεχνικές: επιλογή του σημαντικότερου κριτηρίου, κατάταξη όλων των κριτηρίων και, κυρίως, κατανομή 30 πόντων μεταξύ των κριτηρίων (point allocation), ανάλογα με τη σχετική σημασία που τους απέδιδαν. Η μέθοδος της point allocation επέτρεψε τη συλλογή ποσοτικών προτιμήσεων από διαφορετικές ομάδες, με έμφαση στη διαφάνεια, την απλότητα και την ευκολία εφαρμογής. Οι σταθμισμένοι συντελεστές που προέκυψαν από την κατανομή πόντων χρησιμοποιήθηκαν για να πολλαπλασιαστούν με τις αξιολογήσεις των σεναρίων από ειδικούς

(expert scores), οδηγώντας έτσι σε συγκριτικά "παράγωγα προτιμήσεων" (derived preferences) για κάθε σενάριο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Εφαρμογή Μεθοδολογίας

5 Εφαρμογή Μεθοδολογίας

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται αναλυτικά η εφαρμογή της μεθοδολογίας πολυκριτήριας αξιολόγησης που αναπτύχθηκε στο προηγούμενο στάδιο της εργασίας, με στόχο την ιεράρχηση και στάθμιση των μη ενεργειακών ωφελειών (non-energy benefits - NEBs) οι οποίες σχετίζονται με παρεμβάσεις ενεργειακής ανακαίνισης σε κτίρια. Η μεθοδολογική προσέγγιση βασίζεται στον συνδυασμό δύο επιλεγμένων τεχνικών: της μεθόδου Best-Worst (BWM), η οποία χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό των βαρών των βασικών κατηγοριών κριτηρίων, και της μεθόδου κατανομής πόντων (Point Allocation), η οποία εφαρμόζεται για την αξιολόγηση των επιμέρους υποκριτηρίων κάθε κατηγορίας.

Η εφαρμογή των μεθόδων πραγματοποιήθηκε μέσω ερωτηματολογίου, το οποίο απευθύνθηκε σε τελικούς χρήστες και εμπλεκόμενα μέρη στον τομέα των ενεργειακών ανακαινίσεων. Οι συμμετέχοντες κλήθηκαν αρχικά να αξιολογήσουν τις βασικές κατηγορίες NEBs, επιλέγοντας το σημαντικότερο (best) και το λιγότερο σημαντικό (worst) κριτήριο και προσδιορίζοντας ποσοτικά τη σχετική προτίμησή τους μέσω συγκρίσεων. Στη συνέχεια, για κάθε επιμέρους κατηγορία κριτηρίων, τους ζητήθηκε να κατανεύουν πόντους στα αντίστοιχα υποκριτήρια, με τρόπο που να αντικατοπτρίζει τη δική τους αντίληψη για τη σχετική σπουδαιότητά τους.

Στο πλαίσιο αυτό, το παρόν κεφάλαιο αναπτύσσεται ως εξής. Αρχικά, παρουσιάζεται η μαθηματική διατύπωση και η διαδικασία εφαρμογής της μεθόδου Best-Worst για τον υπολογισμό των βαρών των κύριων κατηγοριών κριτηρίων και της Point Allocation για τα υποκριτήρια. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται σε πίνακες τα βάρη με βάση τις επιλογές του κάθε συμμετέχοντα στην έρευνα, αλλά και πίνακας με τα τελικά βάρη. Τέλος, διατυπώνονται παρατηρήσεις και σχολιασμοί επί της εφαρμογής της μεθοδολογίας.

5.1 Εφαρμογή της Μεθόδου Best-Worst (BWM)

Η μέθοδος Best-Worst (BWM) αποτελεί μία καινοτόμο τεχνική πολυκριτήριας ανάλυσης αποφάσεων (MCDA), η οποία χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των σχετικών βαρών μεταξύ ενός συνόλου κριτηρίων, βάσει συγκρίσεων ζεύγους. Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, η BWM εφαρμόζεται για την ιεράρχηση των βασικών κατηγοριών μη ενεργειακών οφελών (Non-Energy Benefits - NEBs) από παρεμβάσεις ενεργειακής αναβάθμισης σε κτίρια.

5.1.1 Διαδικασία Εφαρμογής της Μεθόδου

Η εφαρμογή της μεθόδου περιλαμβάνει τα εξής διαδοχικά βήματα:

1. **Επιλογή του σημαντικότερου και του λιγότερο σημαντικού κριτηρίου**
Ο συμμετέχων, από το σύνολο των n κριτηρίων $C=\{c_1, c_2, \dots, c_n\}$ καλείται να εντοπίσει το πιο σημαντικό κριτήριο (*Best*, συμβολίζεται ως c_B και το λιγότερο σημαντικό (*Worst*, συμβολίζεται ως c_W).
2. **Σύγκριση του σημαντικότερου κριτηρίου έναντι των υπολοίπων**
Ακολουθεί η αξιολόγηση της σχετικής προτίμησης του c_B έναντι κάθε άλλου κριτηρίου, με βάση κλίμακα 1 έως 9. Προκύπτει έτσι το διάνυσμα:

$$A_B = (a_{B1}, a_{B2}, \dots, a_{Bn})$$

με $a_{BB}=1$.

3. Σύγκριση όλων των κριτηρίων έναντι του λιγότερο σημαντικού. Ομοίως, αποτυπώνεται η προτίμηση κάθε κριτηρίου ως προς το c_w , διαμορφώνοντας το διάνυσμα:

$$A_w = (a_{1w}, a_{2w}, \dots, a_{nw})$$

με $a_{ww}=1$.

5.1.2 Μαθηματική Διατύπωση

Ο στόχος της μεθόδου είναι ο υπολογισμός των βαρών $w_1, w_2, \dots, w_n$ τα οποία εκφράζουν τη σχετική σημασία κάθε κριτηρίου. Το πρόβλημα τίθεται ως πρόβλημα ελαχιστοποίησης της μέγιστης απόκλισης ξ , δηλαδή:

$$\min_{w, \xi} \xi$$

υπό τους περιορισμούς:

$$\left| \frac{w_B}{w_j} - a_{Bj} \right| \leq \xi, \quad \forall j$$

$$\left| \frac{w_j}{w_w} - a_{jw} \right| \leq \xi, \quad \forall j$$

$$\sum_{j=1}^n w_j = 1, \quad w_j \geq 0 \quad \forall j$$

Η επίλυση του προβλήματος αυτού αποδίδει τα βέλτιστα βάρη w_j^* που αντανakλούν τις προτιμήσεις του συμμετέχοντα, ενώ ταυτόχρονα εξασφαλίζει τη μέγιστη δυνατή συνέπεια των συγκρίσεων.

5.1.3 Εφαρμογή στη Παρούσα Μελέτη

Η παραπάνω διαδικασία εφαρμόστηκε σε όλους τους συμμετέχοντες της έρευνας, οι οποίοι συμπλήρωσαν το σχετικό ερωτηματολόγιο σύμφωνα με τις αρχές της μεθόδου BWM.

Πίνακας 9 : Εφαρμογή BWM για συμμετέχων 1

Συμμετέχων 1 ($\xi=0.0637$)				
Κριτήριο	Best to Others	Others to Worst	Βάρος	Κατάταξη
Indoor Air Quality	2	8	0.1783	2
Thermal Comfort	1	9	0.2929	1
Health Benefits	3	5	0.1189	4
Productivity Gains	5	3	0.0713	6
Social Benefits	3	6	0.1189	3
Economic Benefits	4	4	0.0892	5
Behavioral Improvements	8	1	0.0287	9
Acoustic Comfort	7	4	0.0509	7
Visual Comfort	7	3	0.0509	7

Πίνακας 10 : Εφαρμογή BMW για συμμετέχων 2

Συμμετέχων 2 ($\xi=0.0784$)				
Κριτήριο	Best to Others	Others to Worst	Βάρος	Κατάταξη
Indoor Air Quality	2	8	0.1568	2
Thermal Comfort	4	7	0.0784	5
Health Benefits	1	9	0.2353	1
Productivity Gains	4	4	0.0784	5
Social Benefits	7	1	0.0224	9
Economic Benefits	6	5	0.0523	8
Behavioral Improvements	5	5	0.0627	7
Acoustic Comfort	2	9	0.1568	3
Visual Comfort	2	9	0.1568	3

Πίνακας 11 : Εφαρμογή BMW για συμμετέχων 3

Συμμετέχων 3 ($\xi=0.0435$)				
Κριτήριο	Best to Others	Others to Worst	Βάρος	Κατάταξη
Indoor Air Quality	2	7	0.1451	2
Thermal Comfort	1	8	0.2466	1
Health Benefits	2	7	0.1451	2
Productivity Gains	2	7	0.1451	2
Social Benefits	7	2	0.0414	8
Economic Benefits	5	4	0.0580	7
Behavioral Improvements	8	1	0.0254	9
Acoustic Comfort	3	5	0.0967	5
Visual Comfort	3	5	0.0967	5

Πίνακας 12 : Εφαρμογή BMW για συμμετέχων 4

Συμμετέχων 4 ($\xi=0.0708$)				
Κριτήριο	Best to Others	Others to Worst	Βάρος	Κατάταξη
Indoor Air Quality	1	7	0.2166	2
Thermal Comfort	3	7	0.0958	4
Health Benefits (Most Important)	1	8	0.2166	1
Productivity Gains	3	7	0.0958	4
Social Benefits	5	5	0.0575	7
Economic Benefits	5	5	0.0575	7
Behavioral Improvements	7	1	0.0208	9
Acoustic Comfort	2	7	0.1437	3

Visual Comfort	3	8	0.0958	4
----------------	---	---	--------	---

Πίνακας 13 : Εφαρμογή BWM για συμμετέχων 5

Συμμετέχων 5 (ξ=0.0574)				
Κριτήριο	Best to Others	Others to Worst	Βάρος	Κατάταξη
Indoor Air Quality	1	6	0.1899	2
Thermal Comfort	3	6	0.0972	4
Health Benefits (Most Important)	1	9	0.2341	1
Productivity Gains	3	7	0.0972	4
Social Benefits	8	1	0.0221	9
Economic Benefits	5	5	0.0583	7
Behavioral Improvements	5	5	0.0583	7
Acoustic Comfort	3	7	0.0972	4
Visual Comfort	2	7	0.1458	3

5.2 Εφαρμογή της Μεθόδου Point Allocation

Η μέθοδος Point Allocation αποτελεί μία από τις απλούστερες και πιο διαδεδομένες προσεγγίσεις άμεσης στάθμισης (direct weighting) για τον προσδιορισμό των σχετικών βαρών μεταξύ εναλλακτικών επιλογών ή υποκριτηρίων. Η φιλοσοφία της βασίζεται στην ανάθεση ενός πεπερασμένου πλήθους μονάδων προτίμησης από τον συμμετέχοντα, οι οποίες κατανέμονται μεταξύ των υποκριτηρίων κάθε κριτηρίου σύμφωνα με τη σχετική τους σημασία. Η μέθοδος ενδείκνυται ιδιαίτερα για περιπτώσεις όπου απαιτείται απλότητα, άμεση ερμηνεία και ευκολία στη συμπλήρωση από μη εξειδικευμένους χρήστες, γεγονός που την καθιστά κατάλληλη για την παρούσα μελέτη.

5.2.1 Περιγραφή της Διαδικασίας

Αρχικά, για κάθε βασική κατηγορία μη ενεργειακών οφελών παρουσιάζεται στον συμμετέχοντα το αντίστοιχο σύνολο των υποκριτηρίων που την απαρτίζουν. Ο συμμετέχων καλείται να κατανείμει ένα σύνολο προκαθορισμένων μονάδων (10 μονάδες) στα επιμέρους υποκριτήρια, με τρόπο που να αντανakλά την υποκειμενική του κρίση ως προς τη σχετική σημασία του καθενός.

Η συνολική κατανομή πρέπει να πληροί τον περιορισμό:

$$\sum_{i=1}^m p_i = 10$$

όπου:

- m : το πλήθος των υποκριτηρίων μιας κατηγορίας,
- p_i : οι μονάδες που αποδίδονται στο υποκριτήριο i .

Η τιμή p_i μπορεί να λάβει μόνο ακέραιες τιμές στην παρούσα έρευνα, καθώς ο αριθμός των υποκριτηρίων σε κάθε κατηγορία είναι μικρός. Όσο μεγαλύτερη η τιμή p_i , τόσο μεγαλύτερη η σχετική σημασία που αποδίδεται στο υποκριτήριο i .

5.2.2 Υπολογισμός των Σχετικών Βαρών

Για την εξαγωγή των σχετικών βαρών από τις κατανομές των συμμετεχόντων, εφαρμόζεται ο εξής κανονικοποιητικός μετασχηματισμός:

$$w_i = \frac{p_i}{\sum_{i=1}^m p_i}$$

όπου:

- w_i : το κανονικοποιημένο βάρος του υποκριτηρίου i ,
- p_i : οι μονάδες που του αποδόθηκαν από τον συμμετέχοντα.

Η παρακάτω εξίσωση εξασφαλίζει ότι το άθροισμα των βαρών εντός κάθε ομάδας υποκριτηρίων ισούται με 1:

$$\sum_{i=1}^m w_i = 1$$

Τα βάρη αυτά χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με τα βάρη των κύριων κριτηρίων που υπολογίστηκαν μέσω της μεθόδου BMW, ώστε να προσδιοριστεί η συνολική σχετική βαρύτητα κάθε υποκριτηρίου ως προς τη συνολική απόφαση.

5.2.3 Εφαρμογή στη Παρούσα Μελέτη

Η παραπάνω διαδικασία εφαρμόστηκε σε όλους τους συμμετέχοντες της έρευνας, οι οποίοι συμπλήρωσαν το σχετικό ερωτηματολόγιο σύμφωνα με τις αρχές της μεθόδου Point Allocation.

Πίνακας 14 : Εφαρμογή Point Allocation για συμμετέχων 1

Συμμετέχων 1		
Κριτήριο	Πόντοι	Βάρος
Indoor Air Quality		
Average CO ₂ levels	3	0.3
PM2.5 Concentration	4	0.4
Number of days pollution thresholds exceeded	3	0.3
Thermal Comfort		
Percentage of time indoor temperature falls within the comfort range (20-26C)	6	0.6
Average relative humidity	4	0.4

Health Benefits*Reduction in reported respiratory issues*

5 0.5

Number of sick days per occupant

3 0.3

Percentage change in healthcare visit

2 0.2

Productivity Gains*Workdays gained per year*

1 0.1

Self reported focus levels

4 0.4

Task completion time improvements

5 0.5

Social Benefits*Satisfaction survey results*

5 0.5

Percentage of occupants reporting improved quality of life

5 0.5

Economic Benefits*Energy cost savings*

5 0.5

Return on investment

3 0.3

Reduction in public healthcare costs

2 0.2

Behavioral Improvements*Percentage of occupants adopting energy-saving behaviors*

3 0.3

Number of manual adjustments

7 0.7

Acoustic Comfort*Average indoor noise levels*

5 0.5

Percentage of time noise stays below recommended thresholds

5 0.5

Visual Comfort*Daylight availability*

4 0.4

Average light intensity

6 0.6

Πίνακας 15 : Εφαρμογή Point Allocation για συμμετέχων 2

Συμμετέχων 2

Κριτήριο	Πόντοι	Βάρος
Indoor Air Quality		
<i>Average CO₂ levels</i>	5	0.5
<i>PM2.5 Concentration</i>	2	0.2
<i>Number of days pollution thresholds exceeded</i>	3	0.3

Thermal Comfort

Percentage of time indoor temperature falls within the comfort range (20-26C)	7	0.7
---	---	-----

Average relative humidity	3	0.3
---------------------------	---	-----

Health Benefits

Reduction in reported respiratory issues	3	0.3
--	---	-----

Number of sick days per occupant	4	0.4
----------------------------------	---	-----

Percentage change in healthcare visit	3	0.3
---------------------------------------	---	-----

Productivity Gains

Workdays gained per year	2	0.2
--------------------------	---	-----

Self reported focus levels	3	0.3
----------------------------	---	-----

Task completion time improvements	5	0.5
-----------------------------------	---	-----

Social Benefits

Satisfaction survey results	5	0.5
-----------------------------	---	-----

Percentage of occupants reporting improved quality of life	5	0.5
--	---	-----

Economic Benefits

Energy cost savings	4	0.4
---------------------	---	-----

Return on investment	4	0.4
----------------------	---	-----

Reduction in public healthcare costs	2	0.2
--------------------------------------	---	-----

Behavioral Improvements

Percentage of occupants adopting energy-saving behaviors	5	0.5
--	---	-----

Number of manual adjustments	5	0.5
------------------------------	---	-----

Acoustic Comfort

Average indoor noise levels	5	0.5
-----------------------------	---	-----

Percentage of time noise stays below recommended thresholds	5	0.5
---	---	-----

Visual Comfort

Daylight availability	6	0.6
-----------------------	---	-----

Average light intensity	4	0.4
-------------------------	---	-----

Πίνακας 16 : Εφαρμογή Point Allocation για συμμετέχων 3

Συμμετέχων 3		
Κριτήριο	Πόντοι	Βάρος
Indoor Air Quality		
Average CO ₂ levels	4	0.4
PM2.5 Concentration	3	0.3
Number of days pollution thresholds exceeded	3	0.3
Thermal Comfort		
Percentage of time indoor temperature falls within the comfort range (20-26C)	5	0.5
Average relative humidity	5	0.5
Health Benefits		
Reduction in reported respiratory issues	4	0.4
Number of sick days per occupant	3	0.3
Percentage change in healthcare visit	3	0.3
Productivity Gains		
Workdays gained per year	3	0.3
Self reported focus levels	3	0.3
Task completion time improvements	4	0.4
Social Benefits		
Satisfaction survey results	4	0.4
Percentage of occupants reporting improved quality of life	6	0.6
Economic Benefits		
Energy cost savings	4	0.4
Return on investment	4	0.4
Reduction in public healthcare costs	2	0.2
Behavioral Improvements		
Percentage of occupants adopting energy-saving behaviors	5	0.5
Number of manual adjustments	5	0.5
Acoustic Comfort		
Average indoor noise levels	6	0.6
Percentage of time noise stays below recommended thresholds	4	0.4

Visual Comfort*Daylight availability*

6 0.6

Average light intensity

4 0.4

Πίνακας 17 : Εφαρμογή Point Allocation για συμμετέχων 4

Συμμετέχων 4

Κριτήριο	Πόντοι	Βάρος
Indoor Air Quality		
<i>Average CO₂ levels</i>	4	0.4
<i>PM2.5 Concentration</i>	3	0.3
<i>Number of days pollution thresholds exceeded</i>	3	0.3
Thermal Comfort		
<i>Percentage of time indoor temperature falls within the comfort range (20-26C)</i>	5	0.5
<i>Average relative humidity</i>	5	0.5
Health Benefits		
<i>Reduction in reported respiratory issues</i>	5	0.5
<i>Number of sick days per occupant</i>	3	0.3
<i>Percentage change in healthcare visit</i>	2	0.2
Productivity Gains		
<i>Workdays gained per year</i>	1	0.1
<i>Self reported focus levels</i>	3	0.3
<i>Task completion time improvements</i>	6	0.6
Social Benefits		
<i>Satisfaction survey results</i>	4	0.4
<i>Percentage of occupants reporting improved quality of life</i>	6	0.6
Economic Benefits		
<i>Energy cost savings</i>	4	0.4
<i>Return on investment</i>	5	0.5
<i>Reduction in public healthcare costs</i>	1	0.1

Behavioral Improvements*Percentage of occupants adopting energy-saving behaviors*

4 0.4

Number of manual adjustments

6 0.6

Acoustic Comfort*Average indoor noise levels*

5 0.5

Percentage of time noise stays below recommended thresholds

5 0.5

Visual Comfort*Daylight availability*

7 0.7

Average light intensity

3 0.3

Πίνακας 18 : Εφαρμογή Point Allocation για συμμετέχων 5

Συμμετέχων 5

Κριτήριο	Πόντοι	Βάρος
Indoor Air Quality		
<i>Average CO₂ levels</i>	3	0.3
<i>PM2.5 Concentration</i>	2	0.2
<i>Number of days pollution thresholds exceeded</i>	5	0.5
Thermal Comfort		
<i>Percentage of time indoor temperature falls within the comfort range (20-26C)</i>	8	0.8
<i>Average relative humidity</i>	2	0.2
Health Benefits		
<i>Reduction in reported respiratory issues</i>	6	0.6
<i>Number of sick days per occupant</i>	3	0.3
<i>Percentage change in healthcare visit</i>	2	0.2
Productivity Gains		
<i>Workdays gained per year</i>	4	0.4
<i>Self reported focus levels</i>	4	0.4
<i>Task completion time improvements</i>	2	0.2
Social Benefits		
<i>Satisfaction survey results</i>	5	0.5

<i>Percentage of occupants reporting improved quality of life</i>	5	0.5
<i>Economic Benefits</i>		
<i>Energy cost savings</i>	5	0.5
<i>Return on investment</i>	2	0.2
<i>Reduction in public healthcare costs</i>	3	0.3
<i>Behavioral Improvements</i>		
<i>Percentage of occupants adopting energy-saving behaviors</i>	7	0.7
<i>Number of manual adjustments</i>	3	0.3
<i>Acoustic Comfort</i>		
<i>Average indoor noise levels</i>	5	0.5
<i>Percentage of time noise stays below recommended thresholds</i>	5	0.5
<i>Visual Comfort</i>		
<i>Daylight availability</i>	3	0.3
<i>Average light intensity</i>	7	0.7

5.3 Σταθμισμένος Μέσος Όρος Προτιμήσεων

Προκειμένου να εξαχθεί ένα ενιαίο σύνολο προτιμήσεων που να αντιπροσωπεύει συνολικά το δείγμα των συμμετεχόντων, υπολογίστηκε το βάρος του κάθε κριτηρίου μέσω της χρήσης σταθμισμένου μέσου όρου των επιμέρους βαρών για κάθε συμμετέχοντα. Ο σκοπός αυτής της διαδικασίας είναι να συνδυαστούν οι ατομικές προτιμήσεις με τέτοιο τρόπο ώστε να αποδοθεί μεγαλύτερη βαρύτητα σε συμμετέχοντες με εντονότερη σχετικότητα ή εμπειρία, όπως αυτή προσδιορίστηκε εκ των προτέρων από την ερευνητική ομάδα.

Η στάθμιση πραγματοποιήθηκε με βάση τα παρακάτω προκαθορισμένα βάρη για καθέναν από τους πέντε συμμετέχοντες:

- Συμμετέχων 1: 0.30
- Συμμετέχων 2: 0.25
- Συμμετέχων 3: 0.15
- Συμμετέχων 4: 0.10
- Συμμετέχων 5: 0.20

Για κάθε κριτήριο, ο σταθμισμένος μέσος όρος x_j υπολογίστηκε σύμφωνα με την εξίσωση:

$$x_j = \sum_{i=1}^5 w_i * x_{ij}$$

όπου:

- x_j είναι η τελική τιμή για το κριτήριο j ,
- w_i είναι το βάρος του συμμετέχοντα i ,
- x_{ij} είναι η τιμή που έδωσε ο συμμετέχων i στο κριτήριο j ,

Το άθροισμα των βαρών των κριτηρίων θα είναι ίσο με 1:

$$\sum_{j=1}^9 x_j = 1$$

Εφαρμόζοντας τη παραπάνω μέθοδο λαμβάνουμε τα παρακάτω αποτελέσματα:

Πίνακας 19 : Μέσος όρος για BWM

Μέσος όρος BWM		
Κριτήριο	Βάρος	Κατάταξη
Indoor Air Quality	0.1741	2
Thermal Comfort	0.1735	3
Health Benefits	0.1847	1
Productivity Gains	0.0918	6
Social Benefits	0.0576	8
Economic Benefits	0.0659	7
Behavioral Improvements	0.0418	9
Acoustic Comfort	0.1028	5
Visual Comfort	0.1077	4

Αντίστοιχα για την Point Allocation, θα βρούμε το σταθμισμένο μέσο όρο βαθμολογίας για κάθε υποκριτήριο και στη συνέχεια θα το πολλαπλασιάσουμε με το βάρος της κατηγορίας στην οποία ανήκει, ώστε να λάβουμε τα τελικά βάρη των υποκριτηρίων. Στο τέλος, το άθροισμα όλων των βαρών των υποκριτηρίων θα είναι ίσο με 1.

Πίνακας 20 : Μέσος όρος για Point Allocation και εύρεση τελικών βαρών

Μέσος Όρος Point Allocation και τελικά βάρη

Κριτήριο	Πόντοι	Βάρος
Indoor Air Quality		0.1741
Average CO ₂ levels	3.75	0.0653
PM2.5 Concentration	2.85	0.0496
Number of days pollution thresholds exceeded	3.40	0.0592
Thermal Comfort		0.1735

<i>Percentage of time indoor temperature falls within the comfort range (20-26C)</i>	6.40	0.1111
<i>Average relative humidity</i>	3.60	0.0625
Health Benefits		0.1847
<i>Reduction in reported respiratory issues</i>	4.55	0.0841
<i>Number of sick days per occupant</i>	3.05	0.0563
<i>Percentage change in healthcare visit</i>	2.40	0.0443
Productivity Gains		0.0918
<i>Workdays gained per year</i>	2.15	0.0197
<i>Self reported focus levels</i>	3.50	0.0321
<i>Task completion time improvements</i>	4.35	0.0400
Social Benefits		0.0576
<i>Satisfaction survey results</i>	4.75	0.0274
<i>Percentage of occupants reporting improved quality of life</i>	5.25	0.0302
Economic Benefits		0.0659
<i>Energy cost savings</i>	4.50	0.0297
<i>Return on investment</i>	3.40	0.0224
<i>Reduction in public healthcare costs</i>	2.10	0.0138
Behavioral Improvements		0.0418
<i>Percentage of occupants adopting energy-saving behaviors</i>	4.70	0.0196
<i>Number of manual adjustments</i>	5.30	0.0222
Acoustic Comfort		0.1028
<i>Average indoor noise levels</i>	5.15	0.0529
<i>Percentage of time noise stays below recommended thresholds</i>	4.85	0.0499
Visual Comfort		0.1077
<i>Daylight availability</i>	4.90	0.0528
<i>Average light intensity</i>	5.10	0.0549

5.4 Σχολιασμός Αποτελεσμάτων

Αρχικά, παρουσιάζεται ο σχολιασμός των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από την εφαρμογή των δύο πολυκριτήριακών μεθόδων που χρησιμοποιήθηκαν στη μελέτη: της μεθόδου Best-Worst (BWM) για την ιεράρχηση των βασικών κατηγοριών μη ενεργειακών ωφελειών και της μεθόδου κατανομής πόντων (Point Allocation) για την αξιολόγηση των αντίστοιχων υποκριτηρίων.

Η δημιουργία ενός τελικού «συμμετέχοντα», ο οποίος προέκυψε μέσω του σταθμισμένου μέσου όρου των αξιολογήσεων των πέντε χρηστών, επέτρεψε την παραγωγή ενοποιημένων και μεθοδολογικά συνεπών αποτελεσμάτων. Η στάθμιση των συμμετεχόντων βασίστηκε σε προκαθορισμένα βάρη αξιοπιστίας, τα οποία αντικατοπτρίζουν τη σχετική εμπειρία και εξοικείωση τους με το αντικείμενο.

Από την εφαρμογή της BWM προέκυψε ότι η κατηγορία **Health Benefits** συγκέντρωσε τη μεγαλύτερη σχετική βαρύτητα (0,1847), γεγονός που υποδηλώνει ότι οι συμμετέχοντες δίνουν ιδιαίτερη έμφαση στις επιπτώσεις των παρεμβάσεων ενεργειακής αναβάθμισης στην υγεία των χρηστών του κτιρίου. Ακολουθούν οι κατηγορίες **Indoor Air Quality** (0,1741) και **Thermal Comfort** (0,1735), οι οποίες σχετίζονται άμεσα με τις εσωτερικές περιβαλλοντικές συνθήκες και την καθημερινή ευεξία των χρηστών.

Στον αντίποδα, οι κατηγορίες **Behavioral Improvements** (0,0418) και **Social Benefits** (0,0576) έλαβαν τις χαμηλότερες βαθμολογίες, γεγονός που ενδεχομένως αποδίδεται είτε στη δυσκολία ποσοτικοποίησης των σχετικών ωφελειών από την πλευρά των χρηστών είτε στην απουσία άμεσων ενδείξεων για την προσωπική τους εμπειρία από τέτοιου τύπου μεταβλητές.

Όσον αφορά τα υποκριτήρια, τα τελικά βάρη προέκυψαν από τον συνδυασμό των βαρών των βασικών κατηγοριών με τα ενοποιημένα βάρη των υποκριτηρίων, όπως υπολογίστηκαν μέσω της μεθόδου Point Allocation. Η ανάλυση αυτή επέτρεψε την κατάταξη του συνόλου των παραμέτρων της μελέτης με τρόπο πλήρως συμβατό με τις προτιμήσεις του δείγματος, αναδεικνύοντας τα πιο σημαντικά επιμέρους χαρακτηριστικά κάθε κατηγορίας.

Η περαιτέρω ανάλυση των αποτελεσμάτων ανά κατηγορία, επιβεβαιώνει την υψηλή σημασία που αποδίδουν οι χρήστες σε παραμέτρους που σχετίζονται με την ανθρώπινη υγεία, την ποιότητα του αέρα και την θερμική άνεση. Ειδικότερα:

Health Benefits

Το υποκριτήριο *“Reduction in reported respiratory issues”* συγκέντρωσε την υψηλότερη σχετική βαρύτητα (0,0841), γεγονός που αντανάκλα την προτεραιότητα που αποδίδουν οι συμμετέχοντες στην απευθείας βελτίωση της αναπνευστικής υγείας. Αντίθετα, τα υποκριτήρια *“Number of sick days per occupant”* και *“Percentage change in healthcare visits”* έλαβαν σημαντικά χαμηλότερες βαθμολογίες, γεγονός που ενδεχομένως οφείλεται στη μικρότερη αμεσότητα των δεικτών αυτών ως προς την υποκειμενική εμπειρία των χρηστών.

Indoor Air Quality

Τα υποκριτήρια αυτής της κατηγορίας παρουσιάζουν μικρές διακυμάνσεις μεταξύ τους, με το *“Average CO₂ levels”* (0,0730) και το *“Number of days pollution thresholds exceeded”* (0,0661) να καταγράφουν τα υψηλότερα βάρη. Η ομοιογένεια στην κατανομή των αξιολογήσεων καταδεικνύει τη συνολική αντίληψη της ποιότητας αέρα ως πολυπαραγοντικής αλλά ενιαίας έννοιας από την πλευρά των χρηστών.

Thermal Comfort

Το υποκριτήριο “*Percentage of time indoor temperature falls within comfort range*” κυριαρχεί (0,0900) έναντι της “*Average relative humidity*” (0,0507). Το αποτέλεσμα αυτό είναι αναμενόμενο, καθώς η θερμοκρασία αποτελεί μια πιο άμεσα αντιληπτή και σημαντική παράμετρος για την υποκειμενική αίσθηση άνεσης σε σχέση με την υγρασία.

Productivity Gains

Παρατηρείται διαφοροποίηση μεταξύ υποκειμενικών και αντικειμενικών δεικτών. Το “*Task completion time improvements*” (0,0389) αξιολογήθηκε σημαντικά υψηλότερα σε σχέση με το “*Workdays gained per year*” (0,0192), υποδηλώνοντας την αυξημένη αξία που αποδίδεται στη βελτίωση της απόδοσης κατά την εργασία ή χρήση του χώρου, ακόμη και όταν αυτή δεν συνδέεται άμεσα με ποσοτικά αποτελέσματα.

Acoustic Comfort και Visual Comfort

Και οι δύο κατηγορίες αξιολογούνται θετικά, με τα υποκριτήρια “*Noise levels*”, “*Light intensity*” και “*Daylight availability*” να λαμβάνουν παρόμοια βάρη (περίπου 0,05-0,06). Το γεγονός αυτό ενισχύει την άποψη ότι η αντιληπτή ποιότητα του εσωτερικού περιβάλλοντος δεν περιορίζεται μόνο στην θερμική άνεση αλλά περιλαμβάνει και αισθητηριακές παραμέτρους που επηρεάζουν τη γενικότερη ψυχοσωματική εμπειρία των χρηστών.

Behavioral Improvements

Παρότι η κατηγορία αυτή συγκέντρωσε τη χαμηλότερη συνολική βαθμολογία, τα υποκριτήρια “*Manual adjustments*” και “*Energy-saving behaviors*” λαμβάνουν σχεδόν ισοδύναμα βάρη (0,0139 και 0,0123 αντίστοιχα). Το γεγονός αυτό καταδεικνύει μεν τη σχετική τους υποβάθμιση στη συνολική αξιολόγηση, αλλά ταυτόχρονα επισημαίνει και τη δυσκολία συσχέτισης των ενεργειακών παρεμβάσεων με μετρήσιμες αλλαγές στη συμπεριφορά των χρηστών, ειδικά σε βραχυπρόθεσμο ορίζοντα.

Economic και Social Benefits

Η κατηγορία *Economic Benefits* αξιολογείται θετικά κυρίως λόγω του υποκριτηρίου “*Energy cost savings*”, ενώ το “*Return on investment*” και το “*Reduction in public healthcare costs*” κατατάσσονται χαμηλότερα. Αντίστοιχα, στην κατηγορία *Social Benefits*, τα υποκειμενικά κριτήρια όπως “*Quality of life*” και “*Satisfaction survey results*” εμφανίζουν μεγαλύτερη αποδοχή έναντι πιο έμμεσων εννοιών, όπως η κοινωνική συνοχή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

Συμπεράσματα και Προοπτικές

6 Συμπεράσματα και Προοπτικές

Το παρόν κεφάλαιο συνοψίζει τα κύρια ευρήματα και τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τη διεξαγωγή της μελέτης, αναδεικνύοντας τη συμβολή της εργασίας στο επιστημονικό πεδίο και τις δυνατότητες πρακτικής αξιοποίησης της προτεινόμενης μεθοδολογίας. Παράλληλα, συζητούνται οι περιορισμοί που εντοπίστηκαν κατά τη διάρκεια της υλοποίησης της ερευνητικής διαδικασίας, ενώ διατυπώνονται προτάσεις για περαιτέρω έρευνα και πιθανές προοπτικές εξέλιξης, τόσο σε μεθοδολογικό όσο και σε εφαρμοσμένο επίπεδο.

6.1 Συμπεράσματα

Η παρούσα διπλωματική εργασία ξεκίνησε από την ανάγκη για πιο ολοκληρωμένη αξιολόγηση των έργων ενεργειακής αναβάθμισης κτιρίων, δίνοντας έμφαση όχι μόνο στα ενεργειακά οφέλη αλλά και στα μη ενεργειακά οφέλη (Non-Energy Benefits - NEBs) που προκύπτουν για τους χρήστες και τους φορείς υλοποίησης. Σκοπός ήταν η ανάπτυξη μιας πολυκριτηριακής μεθοδολογίας που να λαμβάνει υπόψη την υποκειμενική σημασία των διαφόρων κατηγοριών και υποκριτηρίων NEBs, όπως αυτά καταγράφηκαν στη βιβλιογραφία και προσαρμόστηκαν στο πλαίσιο των κτιριακών έργων.

Αρχικά, μέσα από εκτενή βιβλιογραφική ανασκόπηση 40 μελετών (20 για M&V και 20 για NEBs), εντοπίστηκαν τα βασικά κριτήρια και υποκριτήρια αξιολόγησης, καθώς και δείκτες, μονάδες μέτρησης και πιστοποιήσεις που χρησιμοποιούνται διεθνώς. Στη συνέχεια, σχεδιάστηκε μία καινοτόμος μεθοδολογική προσέγγιση, η οποία συνδυάζει δύο τεχνικές πολυκριτηριακής ανάλυσης: την Best-Worst Method (BWM) για την αξιολόγηση των 9 κύριων κατηγοριών κριτηρίων και τη μέθοδο Point Allocation για τη στάθμιση των αντίστοιχων υποκριτηρίων εντός κάθε κατηγορίας.

Η επιλογή των μεθόδων δεν ήταν αυθαίρετη. Η BWM επιλέχθηκε για την ικανότητά της να παρέχει σταθερά και συνεπή αποτελέσματα με περιορισμένο αριθμό συγκρίσεων, ενώ η Point Allocation αξιοποιήθηκε για να επιτρέψει στον χρήστη να κατανεμήσει "πόντους σημασίας" με άμεσο και κατανοητό τρόπο. Η συνδυαστική εφαρμογή των δύο μεθόδων αποτελεί, κατά την παρούσα μελέτη, μια πρωτότυπη και καινοτόμο μεθοδολογία, η οποία δεν έχει εντοπιστεί προηγουμένως στη σχετική διεθνή βιβλιογραφία, τουλάχιστον στο πεδίο της αξιολόγησης μη ενεργειακών ωφελειών ενεργειακών αναβαθμίσεων σε κτίρια.

Η μεθοδολογία εφαρμόστηκε σε δείγμα πραγματικών χρηστών μέσω ερωτηματολογίου. Για κάθε συμμετέχοντα υπολογίστηκαν ατομικά τα βάρη των κριτηρίων (BWM) και υποκριτηρίων (Point Allocation), και στη συνέχεια υπολογίστηκε ο σταθμισμένος μέσος όρος των απαντήσεων ώστε να εξαχθούν τα τελικά βάρη. Η προσέγγιση αυτή οδήγησε σε ποσοτικοποιημένα βάρη προτίμησης για τα NEBs, τα οποία μπορούν να ενσωματωθούν σε μελλοντικά σχήματα αξιολόγησης ενεργειακών επεμβάσεων.

Παρά τα θετικά στοιχεία, η μεθοδολογική προσέγγιση παρουσιάζει ορισμένους περιορισμούς, οι οποίοι πρέπει να ληφθούν υπόψη για την περαιτέρω αξιοποίησή της:

- Ο αριθμός των συμμετεχόντων στο ερωτηματολόγιο ήταν περιορισμένος και η ανάλυση βασίστηκε σε μεμονωμένες απόψεις χρηστών. Η συμπερίληψη περισσότερων και διαφορετικών ομάδων αποφασιζόντων (όπως ενεργειακοί μηχανικοί, διαχειριστές

έργων ή δημόσιοι φορείς) θα μπορούσε να ενισχύσει τη γενικευσιμότητα των συμπερασμάτων.

- Η ανάλυση βασίστηκε αποκλειστικά σε υποκειμενική εκτίμηση (προτιμήσεις χρηστών) και όχι σε συνδυασμό με αντικειμενικά δεδομένα ή πραγματικές μετρήσεις NEBs από υλοποιημένα έργα.
- Ο συγκεκριμένος συνδυασμός μεθόδων MCDA, αν και καινοτόμος, ενδέχεται να οδηγεί σε διαφορετικά αποτελέσματα σε σύγκριση με άλλες μεθόδους, και η συγκριτική αξιολόγηση με εναλλακτικές τεχνικές θα μπορούσε να προσφέρει επιπλέον τεκμηρίωση.

6.2 Προοπτικές

Η καινοτόμος μεθοδολογία που προτάθηκε και εφαρμόστηκε στην παρούσα εργασία δημιουργεί ένα εύρωστο υπόβαθρο για περαιτέρω ερευνητικές πρωτοβουλίες, τόσο σε επίπεδο μεθοδολογικής εμβάθυνσης όσο και εφαρμοστικής αξιοποίησης. Ο συνδυασμός της μεθόδου Best-Worst (BWM) για την ιεράρχηση κατηγοριών κριτηρίων με τη μέθοδο Point Allocation για τη στάθμιση των αντίστοιχων υποκριτηρίων αποτελεί μία νέα προσέγγιση που, κατά την παρούσα μελέτη, δεν έχει εντοπιστεί στη διεθνή βιβλιογραφία ως εφαρμοσμένος συνδυασμός. Η συνέργεια αυτή, πέραν της πρωτοτυπίας της, προσφέρει ένα εργαλείο φιλικό προς τον χρήστη, με υψηλό βαθμό ερμηνευσιμότητας και περιορισμένες απαιτήσεις ως προς τη γνωστική επιβάρυνση του συμμετέχοντα.

Ως επόμενο βήμα, θα μπορούσε να εξεταστεί η χρήση των βαρών που προέκυψαν από την παρούσα διαδικασία ως είσοδο σε εναλλακτικές μεθόδους πολυκριτήριας ανάλυσης, όπως η μέθοδος TOPSIS, η ELECTRE ή η PROMETHEE, προκειμένου να αξιολογηθεί η συμβατότητα και η συνέπεια των αποτελεσμάτων μεταξύ διαφορετικών προσεγγίσεων. Επιπλέον, ιδιαίτερο ερευνητικό ενδιαφέρον παρουσιάζει η ανάπτυξη διαφορετικών συνδυασμών μεθόδων, είτε εντός του ίδιου σταδίου στάθμισης (π.χ. συγκριτική εφαρμογή BWM και AHP), είτε μεταξύ σταδίων (π.χ. χρήση swing weighting ή direct rating αντί της Point Allocation για τα υποκριτήρια), ώστε να διερευνηθεί η ευαισθησία των τελικών αποτελεσμάτων στις επιλογές μεθοδολογίας.

Ένα ακόμη πεδίο μελλοντικής έρευνας αφορά τη διεύρυνση του δείγματος με περισσότερους συμμετέχοντες από διαφορετικές ομάδες ενδιαφερομένων (stakeholders), όπως μηχανικοί έργων, διαχειριστές εγκαταστάσεων, τελικοί χρήστες κτιρίων ή και φορείς χάραξης πολιτικής, προκειμένου να μελετηθεί η ενδεχόμενη ετερογένεια των απόψεων και προτεραιοτήτων. Η συγκριτική αξιολόγηση μεταξύ ομάδων αποφασιζόντων μπορεί να προσφέρει πολύτιμες ενδείξεις ως προς την κοινωνική και επαγγελματική αποδοχή συγκεκριμένων μη ενεργειακών οφελών.

Σε εφαρμοστικό επίπεδο, θα μπορούσε να διερευνηθεί η δυνατότητα τυποποίησης της μεθοδολογίας με στόχο την ανάπτυξη ενός πλαισίου πιστοποίησης (certificate) που να αναγνωρίζει και να αποτιμά συστηματικά τα μη ενεργειακά οφέλη που προκύπτουν από έργα ενεργειακής αναβάθμισης. Ένα τέτοιο εργαλείο θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί από μηχανικούς, μελετητές και συμβούλους ενεργειακής απόδοσης για τη συγκριτική αποτίμηση παρεμβάσεων και την ενίσχυση της λογοδοσίας έναντι επενδυτών και τελικών χρηστών.

Τέλος, σημαντική προοπτική αποτελεί η αξιοποίηση της παρούσας μεθοδολογίας και των αποτελεσμάτων της σε άλλους τομείς υποστήριξης αποφάσεων, πέραν της ενεργειακής αποδοτικότητας. Η πολυκριτήρια προσέγγιση, με κατάλληλη προσαρμογή των κριτηρίων και των επιμέρους παραμέτρων, μπορεί να εφαρμοστεί σε πλήθος περιπτώσεων, όπως η αξιολόγηση τεχνολογιών, ο σχεδιασμός πολιτικών ή η προτεραιοποίηση κοινωνικών παρεμβάσεων, ενισχύοντας τον διατομεακό χαρακτήρα και τη γενικευσιμότητα της παρούσας ερευνητικής συνεισφοράς.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

Βιβλιογραφία

7 Βιβλιογραφία

- Agenis-Nevers, M., Wang, Y., Dugachard, M., Salvazet, R., Becker, G., & Chenu, D. (2021). Measurement and Verification for multiple buildings: An innovative baseline model selection framework applied to real energy performance contracts. *Energy and Buildings*, 249, 111183.
- Alijani, M., Feizabadi, Y., & Goudarzi, M. (2024). Comparative Analysis of Paddy Cultivation Sustainability through Integrating Eco-efficiency and Best-Worst Method Approaches. *Journal of Agriculture and Food Research*, 101479.
- Alrobaie, A. S., & Krarti, M. (2023). Measurement and Verification Building Energy Prediction (MVBEP): An interpretable data-driven model development and analysis framework. *Energy and Buildings*, 295, 113321.
- Alsharkawy, M., Hamdy, A., & Marzouk, M. (2025). Developing a new sustainable rating system for assessing construction projects using BWM. *Cleaner Engineering and Technology*, 100920.
- Amiri, M., Hashemi-Tabatabaei, M., Keshavarz-Ghorabae, M., Kaklauskas, A., Zavadskas, E. K., & Antucheviciene, J. (2022). A fuzzy extension of Simplified Best-Worst Method (F-SBWM) and its applications to Decision-Making problems. *Symmetry*, 15(1), 81.
- Avanzini, M., Pinheiro, M. D., Gomes, R., & Rolim, C. (2021). Energy retrofit as an answer to public health costs of fuel poverty in Lisbon social housing. *Energy Policy*, 160, 112658.
- Awada, M., & Srour, I. (2018). A genetic algorithm based framework to model the relationship between building renovation decisions and occupants' satisfaction with indoor environmental quality. *Building and Environment*, 146, 247-257.
- Bell, M. L., Hobbs, B. F., Elliott, E. M., Ellis, H., & Robinson, Z. (2001). An evaluation of multi-criteria methods in integrated assessment of climate policy. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 10(5), 229-256.
- Bleyl, J. W., Robertson, M., Mitchell, S., & Thollander, P. (2024). Simplified measurement and verification combined with quality assurance instruments: a more practical and accessible method for M&V of energy savings. *Energy Efficiency*, 17(4).
- Burkhart, M. C., Heo, Y., & Zavala, V. M. (2014). Measurement and verification of building systems under uncertain data: A Gaussian process modeling approach. *Energy and Buildings*, 75, 189-198.
- Chatterjee, S., & Ürge-Vorsatz, D. (2021). Measuring the productivity impacts of energy-efficiency: The case of high-efficiency buildings. *Journal of Cleaner Production*, 318, 128535.
- Chel, A., & Kaushik, G. (2018). Renewable energy technologies for sustainable development of energy efficient building. *Alexandria Engineering Journal*, 57(2), 655-669.
- Coggins, A. M., Hogan, V., Mishra, A. K., Norton, D., Foster, D., Wemken, N., Cowie, H., & Doherty, E. (2024). Energy retrofits: factors affecting a just transition to better indoor air quality. *Indoor Environments*, 100058.
- Coggins, A. M., Wemken, N., Mishra, A. K., Sharkey, M., Horgan, L., Cowie, H., Bourdin, E., & McIntyre, B. (2022). Indoor air quality, thermal comfort and ventilation in deep energy retrofitted Irish dwellings. *Building and Environment*, 219, 109236.
- Dakwale, V. A., Ralegaonkar, R. V., & Mandavgane, S. (2011). Improving environmental performance of building through increased energy efficiency: A review. *Sustainable Cities and Society*, 1(4), 211-218.

- Di Foggia, G. (2018). Energy efficiency measures in buildings for achieving sustainable development goals. *Heliyon*, 4(11), e00953.
- Esangbedo, M. O., Bai, S., Mirjalili, S., & Wang, Z. (2021). Evaluation of human resource information systems using grey ordinal pairwise comparison MCDM methods. *Expert Systems With Applications*, 182, 115151.
- Feng, K., Chokwitthaya, C., & Lu, W. (2024). Exploring occupant behaviors and interactions in buildings with energy-efficient renovations: A hybrid virtual-physical experimental approach. *Building and Environment*, 265, 111991.
- Fisk, W. J., Singer, B. C., & Chan, W. R. (2020). Association of residential energy efficiency retrofits with indoor environmental quality, comfort, and health: A review of empirical data. *Building and Environment*, 180, 107067.
- Földváry, V., Bekö, G., Langer, S., Arrhenius, K., & Petráš, D. (2017). Effect of energy renovation on indoor air quality in multifamily residential buildings in Slovakia. *Building and Environment*, 122, 363-372.
- Gallagher, C. V., Leahy, K., O'Donovan, P., Bruton, K., & O'Sullivan, D. T. (2018). Development and application of a machine learning supported methodology for measurement and verification (M&V) 2.0. *Energy and Buildings*, 167, 8-22.
- Gallagher, C. V., Leahy, K., O'Donovan, P., Bruton, K., & O'Sullivan, D. T. (2019). IntelliMaV: A cloud computing measurement and verification 2.0 application for automated, near real-time energy savings quantification and performance deviation detection. *Energy and Buildings*, 185, 26-38.
- Garau, M., Hampson, G., Devlin, N., Mazzanti, N. A., & Profico, A. (2017). Applying a multicriteria Decision analysis (MCDA) approach to elicit stakeholders' preferences In Italy: the case of Obinutuzumab for Rituximab-Refractory Indolent Non-Hodgkin lymphoma (INHL). *PharmacoEconomics - Open*, 2(2), 153-163.
- Gentile, N. (2022). Improving lighting energy efficiency through user response. *Energy and Buildings*, 263, 112022.
- Granderson, J., Price, P. N., Jump, D., Addy, N., & Sohn, M. D. (2015). Automated measurement and verification: Performance of public domain whole-building electric baseline models. *Applied Energy*, 144, 106-113.
- Granderson, J., Touzani, S., Custodio, C., Sohn, M. D., Jump, D., & Fernandes, S. (2016). Accuracy of automated measurement and verification (M&V) techniques for energy savings in commercial buildings. *Applied Energy*, 173, 296-308.
- Grillone, B., Mor, G., Danov, S., Cipriano, J., & Sumper, A. (2021). A data-driven methodology for enhanced measurement and verification of energy efficiency savings in commercial buildings. *Applied Energy*, 301, 117502.
- Harputlugil, T., & De Wilde, P. (2021). The interaction between humans and buildings for energy efficiency: A critical review. *Energy Research & Social Science*, 71, 101828.
- Hassan, A. A., & El-Rayes, K. (2021). Optimizing the integration of renewable energy in existing buildings. *Energy and Buildings*, 238, 110851.
- Hassan, H., Mishra, A. K., Wemken, N., O'Dea, P., Cowie, H., McIntyre, B., & Coggins, A. M. (2024). Deep energy renovations' impact on indoor air quality and thermal comfort of residential dwellings in Ireland - ARDEN project. *Building and Environment*, 259, 111637.
- Haverinen-Shaughnessy, U., Pekkonen, M., Leivo, V., Prasauskas, T., Turunen, M., Kiviste, M., Aaltonen, A., & Martuzevicius, D. (2018). Occupant satisfaction with indoor environmental quality and health after energy retrofits of multi-family buildings: Results from INSULAtE-project. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 221(6), 921-928.

- Ismaeel, W. S., & Mohamed, A. G. (2022). Indoor air quality for sustainable building renovation: A decision-support assessment system using structural equation modelling. *Building and Environment*, 214, 108933.
- Kanama, N., Ondarts, M., Guyot, G., Outin, J., Golly, B., & Gonze, E. (2023). Effect of energy renovation on indoor air quality and thermal environment in winter of a primary school in a highly polluted French alpine valley. *Journal of Building Engineering*, 72, 106529.
- Ke, M., Yeh, C., & Jian, J. (2013). Analysis of building energy consumption parameters and energy savings measurement and verification by applying eQUEST software. *Energy and Buildings*, 61, 100-107.
- Kolaitis, D. I., Malliotakis, E., Kontogeorgos, D. A., Mandilaras, I., Katsourinis, D. I., & Founti, M. A. (2013). Comparative assessment of internal and external thermal insulation systems for energy efficient retrofitting of residential buildings. *Energy and Buildings*, 64, 123-131.
- Korosuo, Anu & Wikström, Peder & Öhman, Karin & Eriksson, Ljusk. (2011). An integrated MCDA software application for forest planning: a case study in southwestern Sweden. *MCFNS*. 3. 75-86.
- Kromer, S. (2024). *The Role of the Measurement and Verification Professional: Judgment and Decision-making in the Application of M&V*. CRC Press.
- Laustsen, Jens. *Energy Efficiency Requirements in Building Codes, Energy Efficiency Policies for New Buildings*. IEA Information Paper. Sweden.
- Li, N., Guo, Z., Geng, W., Li, L., & Li, Z. (2023). Design strategies for renovation of public space in Beijing's traditional communities based on measured microclimate and thermal comfort. *Sustainable Cities and Society*, 99, 104927.
- Li, S., Jia, X., Peng, C., Zhu, Y., & Cao, B. (2024). Thermal comfort benefits, energy efficiency, and occupant regulation behaviour in four types of personal heating within the built environment. *Building and Environment*, 266, 112075.
- Long, L. (2025). Integrating the group-based fuzzy best-worst method and fuzzy technique for order of preference by similarity to ideal solution for selecting contractors for heritage building renovation projects. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 142, 109928.
- Ma, W., Li, X., & Wang, X. (2021). Water Saving Management Contract, identification and ranking of risks based on life cycle and best-worst method. *Journal of Cleaner Production*, 306, 127153.
- Manfren, M., & Nastasi, B. (2023). Interpretable data-driven building load profiles modelling for Measurement and Verification 2.0. *Energy*, 283, 128490.
- Moraliyage, H., Dahanayake, S., De Silva, D., Mills, N., Rathnayaka, P., Nguyen, S., Alahakoon, D., & Jennings, A. (2022). A Robust Artificial Intelligence Approach with Explainability for Measurement and Verification of Energy Efficient Infrastructure for Net Zero Carbon Emissions. *Sensors*, 22(23), 9503.
- Mostafaeipour, A., Alvandimanesh, M., Najafi, F., & Issakhov, A. (2021). Identifying challenges and barriers for development of solar energy by using fuzzy best-worst method: A case study. *Energy*, 226, 120355.
- Mousavi-Nasab, S. H., & Sotoudeh-Anvari, A. (2020). An extension of best-worst method with D numbers: Application in evaluation of renewable energy resources. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 40, 100771.
- Nastasi, B., Manfren, M., Groppi, D., Lamagna, M., Mancini, F., & Garcia, D. A. (2022). Data-driven load profile modelling for advanced measurement and verification (M&V) in a fully electrified building. *Building and Environment*, 221, 109279.

- Newsham, G. R. (2019). Measurement and verification of energy conservation measures using whole-building electricity data from four identical office towers. *Applied Energy*, 255, 113882.
- Odu, G. (2019). Weighting methods for multi-criteria decision making technique. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 23(8), 1449.
- Olinga, Z., Xia, X., & Ye, X. (2017). A cost-effective approach to handle measurement and verification uncertainties of energy savings. *Energy*, 141, 1600-1609.
- Oluokun, N. O. A., Akinsooto, N. O., Ogundipe, N. O. B., & Ikemba, N. S. (2025). Policy and technological synergies for advancing measurement and verification (M&V) in energy efficiency projects. *Gulf Journal of Advance Business Research*, 3(1), 226-251.
- Omelekhina, Y., Nordquist, B., Alce, G., Caltenco, H., Wallenten, P., Borell, J., & Wierzbicka, A. (2021). Effect of energy renovation and occupants' activities on airborne particle concentrations in Swedish rental apartments. *The Science of the Total Environment*, 806, 149995.
- Otay, İ., Onar, S. Ç., Öztayşi, B., & Kahraman, C. (2024). Evaluation of sustainable energy systems in smart cities using a Multi-Expert Pythagorean fuzzy BWM & TOPSIS methodology. *Expert Systems With Applications*, 250, 123874.
- Owolabi, A. B., Nsafon, B. E. K., Roh, J. W., Suh, D., & Huh, J. (2020). Measurement and verification analysis on the energy performance of a retrofit residential building after energy efficiency measures using RETScreen Expert. *Alexandria Engineering Journal*, 59(6), 4643-4657.
- Popescu, D., Bienert, S., Schützenhofer, C., & Boazu, R. (2012). Impact of energy efficiency measures on the economic value of buildings. *Applied Energy*, 89(1), 454-463.
- Pöyhönen, M., & Hämmäläinen, R. P. (2001). On the convergence of multiattribute weighting methods. *European Journal of Operational Research*, 129(3), 569-585.
- Ratandhara, H. M., & Kumar, M. (2024). An α -cut intervals based Fuzzy Best-Worst Method for Multi-Criteria Decision-Making. *Applied Soft Computing*, 159, 111625.
- Roberts, R., & Goodwin, P. (2002). Weight approximations in multi-attribute decision models. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 11(6), 291-303.
- Rocha, P., Siddiqui, A., & Stadler, M. (2015). Improving energy efficiency via smart building energy management systems: A comparison with policy measures. *Energy and Buildings*, 88, 203-213.
- Roumi, S., Zhang, F., Stewart, R. A., & Santamouris, M. (2022). Weighting of indoor environment quality parameters for occupant satisfaction and energy efficiency. *Building and Environment*, 228, 109898.
- Run, K., Cévaër, F., & Dubé, J. (2023). Does energy-efficient renovation positively impact thermal comfort and air quality in university buildings? *Journal of Building Engineering*, 78, 107507.
- Sarmas, E., Forouli, A., Marinakis, V., & Doukas, H. (2023). Baseline energy modeling for improved measurement and verification through the use of ensemble artificial intelligence models. *Information Sciences*, 654, 119879.
- Sayed, K., & Gabbar, H. A. (2017). Building Energy Management Systems (BEMS). John Wiley & Sons, Inc., 15-81.
- Shahcheraghian, A., Madani, H., & Ilinca, A. (2024). From White to Black-Box Models: A review of simulation tools for building energy management and their application in consulting practices. *Energies*, 17(2), 37.
- Sheppard, S. R., & Meitner, M. (2004). Using multi-criteria analysis and visualisation for sustainable forest management planning with stakeholder groups. *Forest Ecology and Management*, 207(1-2), 171-187.

- Shi, Y., Wang, R., & Chen, P. (2023). Multi-criteria decision-making approach for energy-efficient renovation strategies in hospital wards: Balancing energy, economic, and thermal comfort. *Energy and Buildings*, 298, 113575.
- Spiekman, M. E., Boess, S. U., Santin, O. G., Rovers, T. J. H., & Nelis, N. (2022). Effects of energy-efficient renovation concepts on occupant behaviour and hence building performance. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*, 1085(1), 012023.
- Ssembatya, M., Baltazar, J., & Claridge, D. E. (2024). Evaluating inverse modeling methods for measurement and verification of chiller energy efficiency measures. *Applied Energy*, 378, 124805.
- Sukarti, S., Sulaima, M. F., Kadir, A. F. A., Shamsor, M. H., & Yao, S. W. (2024). Advancing industrial building energy measurement and verification (M&V) with deep learning: Evaluating data size and feature selection impact. *Energy and Buildings*, 319, 114457.
- Tanguay, D. (n.d.-a). IPMVP - Efficiency Valuation Organization (EVO). <https://evo-world.org/en/products-services-mainmenu-en/protocols/ipmvp>
- Tanguay, D. (n.d.-b). Principles of M&V - Efficiency Valuation Organization (EVO). <https://evo-world.org/en/m-v/principles-of-m-v>
- Tanguay, D. (n.d.-c). Purpose of M&V - Efficiency Valuation Organization (EVO). <https://evo-world.org/en/m-v/purpose-of-m-v>
- Tanguay, D. (n.d.-d). What is M&V - Efficiency Valuation Organization (EVO). <https://evo-world.org/en/m-v/what-is-m-v>
- Tavana, M., Sorooshian, S., Rezaei, H., & Mina, H. (2024). A novel fuzzy scenario-based stochastic general best-worst method. *Expert Systems With Applications*, 252, 124246.
- Ürge-Vorsatz, D., Cabeza, L. F., Serrano, S., Barreneche, C., & Petrichenko, K. (2015). Heating and cooling energy trends and drivers in buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, 85-98.
- Van Til, J., Groothuis-Oudshoorn, C., Lieferink, M., Dolan, J., & Goetghebeur, M. (2014). Does technique matter; a pilot study exploring weighting techniques for a multi-criteria decision support framework. *Cost Effectiveness and Resource Allocation*, 12(1), 22.
- Woo, J., Fatima, R., Kibert, C. J., Newman, R. E., Tian, Y., & Srinivasan, R. S. (2021). Applying blockchain technology for building energy performance measurement, reporting, and verification (MRV) and the carbon credit market: A review of the literature. *Building and Environment*, 205, 108199.
- Xu, B., & Ouenniche, J. (2012). Performance evaluation of competing forecasting models: A multidimensional framework based on MCDA. *Expert Systems With Applications*, 39(9), 8312-8324.
- Yang, S., Pernot, J. G., Jörin, C. H., Niculita-Hirzel, H., Perret, V., & Licina, D. (2019). Energy, indoor air quality, occupant behavior, self-reported symptoms and satisfaction in energy-efficient dwellings in Switzerland. *Building and Environment*, 171, 106618.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

Παράρτημα

8 Παράρτημα

8.1 Κατάλογος Συντομογραφιών

AI	Artificial Intelligence
BAS	Building Automation Systems
BMS	Building Management Systems
BWM	Best Worst Method
EEMs	Energy Efficiency Measures
ELECTRE	Elimination and Choice Translating Reality
EPC	Energy Performance Contracts
EVO	Efficiency Valuation Organization
IAQ	Indoor Air Quality
IEA	International Energy Agency
IoT	Internet of Things
IPMVP	International Performance Measurement and Verification Protocol
M&V	Measurement and Verification
MCDA	Multi-Criteria Decision Analysis
ML	Machine Learning
NEBs	Non Energy Benefits
PROMETHEE	Preference ranking organization method for enrichment evaluation
ROI	Return on Investment
SDGs	Sustainable Development Goals
TOPSIS	Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution

8.2 Ερωτηματολόγιο για την Εφαρμογή BWM και Point Allocation

Purpose of the Survey

Energy upgrades in buildings (like insulation, new windows, or ventilation systems) offer more than just lower bills. They also improve comfort, health, productivity, and more. These additional benefits are called Non-Energy Benefits (NEBs).

The goal of [this survey](#) is to understand how people like you perceive these non-energy benefits.

By learning which benefits matter most to users, we can create smarter ways to design, evaluate, and promote building renovations.

How the Evaluation Works

We use two simple, structured methods to understand your preferences:

A. Best-Worst Method (BWM)

Instead of comparing all the benefits at once (which can be tiring and confusing), this method breaks it down into a few easy steps:

1. Pick the one benefit you consider the MOST important (Best).
2. Pick the one you consider the LEAST important (Worst).
3. Tell us how much more important the Best is compared to each of the others.
4. Then, tell us how much more important each of the others is compared to the Worst.

The scale used for the comparisons is the following:

- 1 = Equal importance
- 3 = Moderate importance
- 5 = Strong importance
- 7 = Very strong importance
- 9 = Extreme importance
- (2,4,6,8 are intermediate values)

For instance, if you have selected “Health Benefits” as the most important criterion and you think that it is equally important to “Indoor Air Quality”, but strongly more important than “Thermal Comfort”, you may select:

Compare your MOST important criterion to others 

Rate how much more important your selected MOST important criterion is compared to each of the other criteria.

3. Compare your MOST important criterion to: Indoor Air Quality  
If this is your selected most important criterion, rate it with equal importance or skip the question.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Equal Importance Extreme Importance

4. Compare your MOST important criterion to: Thermal Comfort  
If this is your selected most important criterion, rate it with equal importance or skip the question.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Equal Importance Extreme Importance

5. Compare your MOST important criterion to: Health Benefits  
If this is your selected most important criterion, rate it with equal importance or skip the question.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Equal Importance Extreme Importance

The procedure is similar when comparing how much more important is other criteria to the Worst.

B. Point Allocation for Sub-Criteria

Each of the 9 main criteria includes **sub-criteria** that describe specific aspects.

For example, under *Thermal Comfort*, sub-criteria might include:

- Percentage of time indoor temperature falls within the comfort range (20-26C)
- Average relative humidity

You will:

- **Distribute 10 points** among the sub-criteria of each category.
- The more important a sub-criterion is to you, the more points you give it.

Tip: If two sub-criteria are equally important, you can give them both 5 points. If one is twice as important, give it 7 and the other 3 (or similar).

Point Allocation: Thermal Comfort

In this section, allocate points among the sub-criteria for Thermal Comfort. The total should equal 10 points, with more points indicating higher importance.

24. Percentage of time indoor temperature falls within the comfort range (20-26C)  

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

25. Average relative humidity  

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

This method helps us understand how importance is distributed within each category.

Explanation of the 9 Main Non-Energy Benefit Categories

1. **Indoor Air Quality:** Cleaner indoor air, less humidity or mold, fewer allergens and pollutants.
2. **Thermal Comfort:** Stable indoor temperatures across seasons, no drafts, and well-controlled climate.
3. **Health Benefits:** Fewer illnesses, better sleep, reduced asthma or respiratory issues.
4. **Productivity Gains:** Better focus, concentration, and performance for work or study inside the building.
5. **Social Benefits:** Enhanced satisfaction, pride, equity, and positive community or social image.
6. **Economic Benefits:** Higher property value, fewer repair costs, savings beyond energy bills.
7. **Behavioral Improvements:** Encourages energy-saving habits, such as switching off lights or using daylight.
8. **Acoustic Comfort:** Less noise from traffic or neighbors; quieter indoor environment.
9. **Visual Comfort:** More natural light, better lighting quality, pleasant views, less glare.

BWM

In this section, you will identify the most important and least important criteria categories, then compare them.

2. Select the MOST important criteria category: [?]

- ☐ Indoor Air Quality
- ☐ Thermal Comfort
- ☐ Health Benefits
- ☐ Productivity Gains
- ☐ Social Benefits
- ☐ Economic Benefits
- ☐ Behavioral Improvements
- ☐ Acoustic Comfort
- ☐ Visual Comfort

3. Select the LEAST important criteria category: [?]

- ☐ Indoor Air Quality
- ☐ Thermal Comfort
- ☐ Health Benefits
- ☐ Productivity Gains
- ☐ Social Benefits
- ☐ Economic Benefits
- ☐ Behavioral Improvements
- ☐ Acoustic Comfort
- ☐ Visual Comfort

Compare all criteria to the LEAST important criterion [?]

Rate how much more important each criterion is compared to your selected LEAST important criterion.

13. Compare Indoor Air Quality to your LEAST important criterion [?]

If this is your selected least important criterion, rate it with equal importance or skip the question.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Equal Importance

Extreme Importance

14. Compare Thermal Comfort to your LEAST important criterion [?]

If this is your selected least important criterion, rate it with equal importance or skip the question.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Equal Importance

Extreme Importance

15. Compare Health Benefits to your LEAST important criterion [?]

If this is your selected least important criterion, rate it with equal importance or skip the question.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Equal Importance

Extreme Importance

16. Compare Productivity Gains to your LEAST important criterion [?]

If this is your selected least important criterion, rate it with equal importance or skip the question.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Equal Importance

Extreme Importance

17. Compare Social Benefits to your LEAST important criterion [?]

If this is your selected least important criterion, rate it with equal importance or skip the question.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Equal Importance

Extreme Importance

18. Compare Economic Benefits to your LEAST important criterion [?]

If this is your selected least important criterion, rate it with equal importance or skip the question.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Equal Importance

Extreme Importance

19. Compare Behavioral Improvements to your LEAST important criterion [?]

If this is your selected least important criterion, rate it with equal importance or skip the question.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Equal Importance

Extreme Importance

20. Compare Visual Comfort to your LEAST important criterion [?]

If this is your selected least important criterion, rate it with equal importance or skip the question.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Equal Importance

Extreme Importance

21. Compare Acoustic Comfort to your LEAST important criterion [?]

If this is your selected least important criterion, rate it with equal importance or skip the question.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Equal Importance

Extreme Importance

Compare your MOST important criterion to others [?]

Rate how much more important your selected MOST important criterion is compared to each of the other criteria.

4. Compare your MOST important criterion to: Indoor Air Quality [?]

If this is your selected most important criterion, rate it with equal importance or skip the question.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Equal Importance

Extreme Importance

5. Compare your MOST important criterion to: Thermal Comfort [?]

If this is your selected most important criterion, rate it with equal importance or skip the question.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Equal Importance

Extreme Importance

6. Compare your MOST important criterion to: Health Benefits [?]

If this is your selected most important criterion, rate it with equal importance or skip the question.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Equal Importance

Extreme Importance

7. Compare your MOST important criterion to: Productivity Gains [?]

If this is your selected most important criterion, rate it with equal importance or skip the question.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Equal Importance

Extreme Importance

8. Compare your MOST important criterion to: Social Benefits [?]

If this is your selected most important criterion, rate it with equal importance or skip the question.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Equal Importance

Extreme Importance

9. Compare your MOST important criterion to: Economic Benefits [?]

If this is your selected most important criterion, rate it with equal importance or skip the question.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Equal Importance

Extreme Importance

10. Compare your MOST important criterion to: Behavioral Improvements [?]

If this is your selected most important criterion, rate it with equal importance or skip the question.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Equal Importance

Extreme Importance

11. Compare your MOST important criterion to: Acoustic Comfort [?]

If this is your selected most important criterion, rate it with equal importance or skip the question.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Equal Importance

Extreme Importance

12. Compare your MOST important criterion to: Visual Comfort [?]

If this is your selected most important criterion, rate it with equal importance or skip the question.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Equal Importance

Extreme Importance

Point Allocation: Indoor Air Quality

In this section, allocate points among the sub-criteria for Indoor Air Quality. The total should equal 10 points, with more points indicating higher importance.

22. Average CO2 levels

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

23. PM2.5 Concentration

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

24. Number of days pollution thresholds exceeded

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

Point Allocation: Thermal Comfort

In this section, allocate points among the sub-criteria for Thermal Comfort. The total should equal 10 points, with more points indicating higher importance.

25. Percentage of time indoor temperature falls within the comfort range (20-26C)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

26. Average relative humidity

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

Point Allocation: Health Benefits

In this section, allocate points among the sub-criteria for Health Benefits. The total should equal 10 points, with more points indicating higher importance.

27. Reduction in reported respiratory issues

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

28. Number of sick days per occupant

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

29. Percentage change in healthcare visit

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

Point Allocation: Productivity Gains

In this section, allocate points among the sub-criteria for Productivity Gains. The total should equal 10 points, with more points indicating higher importance.

30. Workdays gained per year

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

31. Self reported focus levels

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

32. Task completion time improvements

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

Point Allocation: Social Benefits

In this section, allocate points among the sub-criteria for Social Benefits. The total should equal 10 points, with more points indicating higher importance.

33. Satisfaction survey results

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

34. Percentage of occupants reporting improved quality of life

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

Point Allocation: Economic Benefits

In this section, allocate points among the sub-criteria for Economic Benefits. The total should equal 10 points, with more points indicating higher importance.

35. Energy cost savings

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

36. Return on investment

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

37. Reduction in public healthcare costs

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

Point Allocation: Behavioral Improvements

In this section, allocate points among the sub-criteria for Behavioral Improvements. The total should equal 10 points, with more points indicating higher importance.

38. Percentage of occupants adopting energy-saving behaviors (e.g., turning off lights)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

39. Number of manual adjustments (thermostat changes, window openings)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

Point Allocation: Acoustic Comfort

In this section, allocate points among the sub-criteria for Acoustic Comfort. The total should equal 10 points, with more points indicating higher importance.

40. Average indoor noise levels (dB)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

41. Percentage of time noise stays below recommended thresholds

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

Point Allocation: Visual Comfort

In this section, allocate points among the sub-criteria for Visual Comfort. The total should equal 10 points, with more points indicating higher importance.

42. Daylight availability (% of occupied hours)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

43. Average light intensity

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----